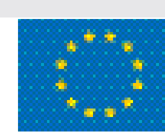
BROCHURE COMPÉTENCE

Guide
Sécurité des machines

Six étapes pour une machine sûre





Six étapes pour une machine sûre



7088620/09-2011
Sous réserve d'erreurs et de modifications



La sécurité des machines assure la sécurité juridique du fabricant et de l'exploitant. Les utilisateurs de machines attendent qu'on leur propose exclusivement des machines et des appareils sûrs et ce, partout dans le monde. Parallèlement, il existe partout dans le monde des règles visant à protéger les utilisateurs de machines. Ces règles varient d'une région à une autre. Cependant, elles sont largement unanimes sur les procédés imputables au fabricant pour la construction et la modernisation de machines :

- Lors de la construction de machines, le fabricant doit procéder à une appréciation des risques (également appelée analyse des risques ou étude de risque) pour identifier et évaluer tous les risques et points dangereux possibles.
- En fonction de cette appréciation des risques, le fabricant de la machine doit éliminer ou **réduire** le **risque** par des mesures adéquates. Si le risque ne peut être éliminé par des mesures structurelles ou si le risque résiduel n'est pas tolérable, le fabricant de la machine doit sélectionner et utiliser des équipements de protection adéquats et, le cas échéant, informer l'utilisateur des risques résiduels.
- Pour s'assurer que les mesures prévues sont efficaces, une **validation globale** est obligatoire. Cette validation globale doit évaluer les mesures structurelles aussi bien que techniques ainsi que les mesures d'organisation dans le contexte.

Nous allons vous guider en six étapes, présentées ci-contre, vers une machine sûre.

À propos de ce guide

Qu'est-ce que c'est ?

Voici un guide complet sur les principes réglementaires régissant les machines ainsi que la sélection et l'utilisation d'équipements de protection. À partir des directives, prescriptions et normes européennes en vigueur, nous vous présentons différentes possibilités vous permettant de sécuriser vos machines et de protéger les personnes des accidents. Les exemples et informations de ce guide sont le résultat de longues années d'expérience pratique et représentent des applications typiques.

Le présent guide décrit les obligations réglementaires imposées aux machines au sein de l'Union européenne et leur mise en œuvre. Les obligations applicables aux machines dans d'autres parties du monde (par ex. Amérique du Nord, Asie) sont décrites dans les versions correspondantes de ce guide.

Les informations ci-après ne peuvent ouvrir droit à aucun recours, quelle qu'en soit la base juridique, chaque machine exigeant une solution spécifique en fonction des prescriptions et normes nationales et internationales.

En principe, nous faisons référence aux normes et directives actuelles et publiées à la date de publication de ce guide. Si de nouvelles normes autorisent l'application des anciennes normes pendant une période de transition, nous l'avons indiqué aux chapitres correspondants du présent guide.

→ Les références à d'autres normes utiles et sources d'aides sont marquées ci-après par une flèche bleue.

Pour qui est-ce ?

Le présent guide s'adresse aux fabricants, exploitants, constructeurs et intégrateurs d'installations ainsi qu'à tous ceux qui sont responsables de la sécurité des machines. C'est pour des raisons de lisibilité que nous utiliserons principalement la forme masculine dans la suite de ce guide.

Votre équipe de rédaction



Derrière : Otto Görnemann, Hans Simonyi, Jürgen Bukowski, Rolf Schumacher. Devant : Harald Schmidt, Hans-Jörg Stubenrauch, Doris Lilienthal, Carsten Gregorius
Absent de la photo : Gerhard Dieterle

La sécurité par les hommes, pour les hommes



Les exigences de sécurisation des machines ont évolué avec l'automatisation croissante des systèmes. Auparavant, les dispositifs de sécurité étaient considérés comme une gêne dans le processus du travail, c'est pourquoi ils étaient souvent ignorés. Les techniques innovantes ont permis d'intégrer les équipements de protection dans le processus de travail. Ainsi, ils ne représentent plus un obstacle pour les opérateurs mais, souvent, améliorent même la productivité. C'est pour cette raison que des équipements de protection fiables et intégrés aux processus de travail sont devenus indispensables.

La sécurité est un besoin fondamental

La sécurité est un besoin fondamental de l'homme. Les études montrent que les personnes soumises à des situations de stress permanent sont plus fréquemment sujettes à des maladies psychosomatiques. Bien que l'homme puisse s'adapter à long terme à des situations extrêmes, cela entraîne une contrainte individuelle très élevée.

L'objectif est donc le suivant : **les opérateurs et le personnel de maintenance doivent pouvoir faire confiance à la sécurité d'une machine !**

Cependant, il existe une opinion répandue selon laquelle plus de « sécurité » entraîne une baisse de productivité – en fait, c'est le contraire. Une sécurité accrue entraîne une augmentation de la motivation et de la satisfaction et donc, au final, une hausse de la productivité.

La sécurité est une mission des dirigeants

Les décideurs de l'industrie sont responsables de leurs salariés ainsi que d'une production rentable et efficace. C'est seulement si l'encadrement place la sécurité au sommet de ses préoccupations quotidiennes que le reste du personnel ne s'opposera pas au sujet.

Pour améliorer l'aspect durable de la démarche, les experts recommandent donc l'établissement d'une « culture de sécurité » élargie dans l'entreprise. Ce n'est pas sans raison, puisque neuf accidents sur dix résultent d'erreurs humaines.

La prise en compte des salariés entraîne l'acceptation

Il est très important de tenir compte des besoins du personnel d'entretien et de maintenance dans la planification du projet.

Seul un concept de sécurité intelligent, adapté au processus de travail et au personnel, peut s'assurer l'acceptation nécessaire.

Le savoir des experts est indispensable

La sécurité des machines dépend en grande partie de l'application correcte des directives et des normes. En Europe, les dispositions réglementaires nationales sont adaptées les unes aux autres par des directives européennes, par ex. la Directive Machines.

Ces directives décrivent des exigences générales qui sont concrétisées par des normes. Fréquemment, les normes européennes sont également acceptées hors d'Europe.

Pour mettre en œuvre ces exigences de manière pratique, il faut une expertise étendue, un savoir-faire applicatif et de longues années d'expérience.

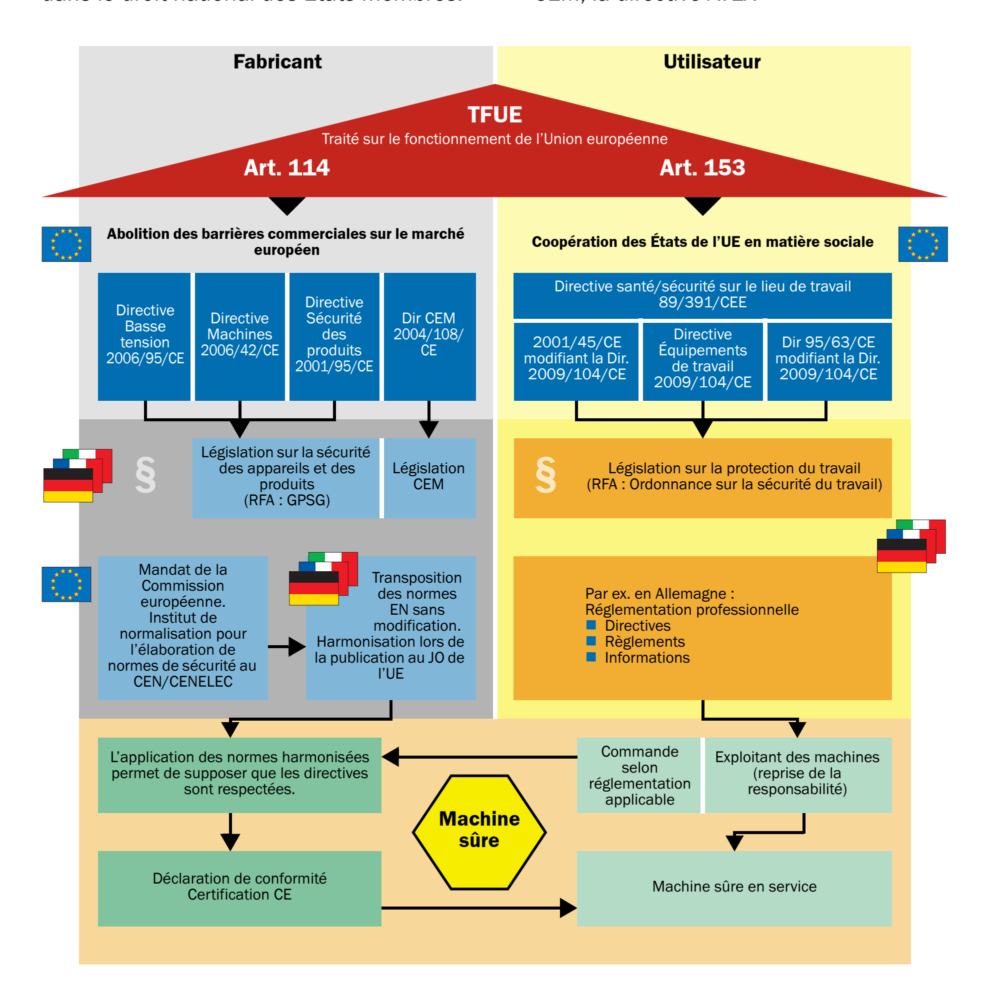
Les directives et normes européennes s'appliquent aux fabricants et aux sociétés procédant à la mise en circulation de machines dans l'espace économique européen.

Directives européennes

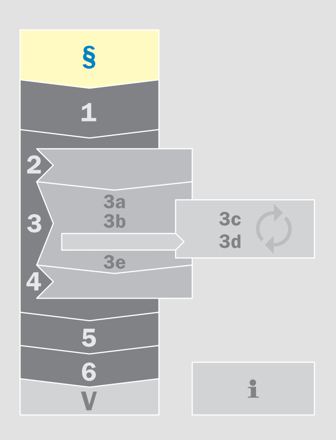
L'un des principes de l'Union européenne est la protection de la santé de ses citoyens dans leur environnement personnel aussi bien que professionnel. Un autre principe est la création d'un marché uni au sein duquel la libre circulation des marchandises est assurée.
Conformément au Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, la Commission européenne et le Conseil de l'UE ont promulgué différentes directives pour concrétiser simultanément les objectifs de libre circulation des marchandises et de protection des citoyens. Ces directives doivent ensuite être transposées dans le droit national des États membres.

Les directives définissent des objectifs et exigences de principe et sont, autant que possible, neutres en termes de technologie.
Dans le domaine de la sécurité des machines et de la protection au travail, les directives suivantes ont été promulguées :

- la Directive Machines, qui s'adresse aux fabricants de machines ;
- la Directive Sociale (directive relative à l'utilisation des installations), qui s'adresse aux exploitants de machines ;
- des directives complémentaires, par ex. la directive Basse tension, la directive CEM, la directive ATEX



→ Les directives sont accessibles au public, par ex. sur le site Internet http://eur-lex.europa.eu/



Les exigences relatives à la sécurité des machines et à l'emploi d'équipements de protection sont définies dans les différents pays par des dispositions légales et des normes techniques variables.

§

La Directive Machines

La Directive Machines 2006/42/CE s'adresse aux fabricants et aux sociétés mettant en circulation des machines et des composants de sécurité. Elle définit les tâches à exécuter pour respecter les exigences de santé et de sécurité applicables aux machines neuves, afin d'abolir les barrières commerciales au sein de l'Europe et de garantir un niveau élevé de sécurité et protection de la santé aux utilisateurs et aux opérateurs.
Elle s'applique à la construction de machines et de composants de sécurité mis en circulation individuellement, ainsi qu'aux machines d'occasion et aux appareils provenant de pays tiers mis sur le marché pour la première fois dans l'espace économique européen (par ex. venant des États-Unis et du Japon).

- En 1989, le Conseil de l'Union européenne a promulgué la Directive concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux machines, connue sous le nom de **Directive Machines** (89/392/CEE).
- En 1995, cette directive devait s'appliquer dans tous les États membres de l'Union européenne.
- En 1998, diverses modifications ont été regroupées et consolidées dans la Directive Machines 98/37/CE.
- En 2006, une « Nouvelle Directive Machines » (2006/42/CE) a été promulguée. Elle remplace les versions précédentes et son application est obligatoire depuis le 29.12.2009 dans les États membres de l'UE.

Depuis le 29.12.2009, seule la « Nouvelle Directive Machines » (2006/42/CE) s'applique !

La Directive Machines a été transposée comme suit dans ces pays :
- France : Décret n° 2008-1156 du 7 novembre 2008 relatif aux équipements de travail et aux équipements de protection individuelle
- Suisse : Loi fédérale sur la sécurité d'installations et d'appareils techniques du 19 mars 1976 (LSIT) modifiée par la loi du 18 juin 1993
- Belgique : Loi sur le bien-être et Code sur le bien-être au travail (De Welzijnswet en de Codex over het Welzijn op het Werk)

Les États membres n'ont pas le droit d'interdire, de limiter ou d'empêcher la mise en circulation et la mise en service de machines et de composants de sécurité conformes à la Directive Machines. Ainsi, aucune loi, ordonnance ou norme nationale ne peut imposer d'exigences plus strictes sur la nature des machines !

La Directive Sociale (directive relative à l'utilisation des installations)

Les obligations de l'employeur sont définies dans la directive relative à l'utilisation des installations. Celle-ci s'applique à l'utilisation des machines et des appareils au poste de travail.
Cette directive vise à s'assurer que l'utilisation des équipements de travail respecte des prescriptions minimales afin d'améliorer la sécurité et la protection de la santé.
Chaque État membre peut y ajouter ses propres exigences nationales : par exemple sur le contrôle des installations, les intervalles d'entretien ou de maintenance, l'utilisation d'équipements de protection individuelle, l'organisation du poste de travail, etc.
Les exigences de la Directive Sociale ainsi que les exigences et instructions nationales sont regroupées dans la législation nationale.



- France : Décret n° 93-40 du 11 janvier 1993 relatif aux prescriptions techniques applicables à l'utilisation des équipements de travail
- Suisse : Loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce (SR 822.11, LTr)
- Belgique : Loi sur le bien-être et Code sur le bien-être au travail (De Welzijnswet en de Codex over het Welzijn op het Werk)

→ Directive Sociale 2009/104/CE : http://eur-lex.europa.eu/

Quelles sont les obligations du fabricant de machines ?

Concevoir des machines sûres
Les fabricants sont tenus de concevoir leurs machines de manière à respecter les principes de la Directive Machines en matière de sécurité et de santé. Les fabricants doivent tenir compte de l'intégration de la sécurité dès la construction des machines. En pratique, cela signifie que le constructeur doit effectuer une appréciation des risques dès la phase de développement d'une machine. Les mesures en résultant peuvent être intégrées directement à la construction. Les étapes 1 à 5 de ce guide décrivent en détail comment procéder.

Élaborer une notice d'instructions
Le fabricant de machines doit élaborer un manuel d'utilisation appelé « notice d'instructions originale ». Chaque machine doit être accompagnée d'une notice d'instructions dans la langue officielle du pays d'utilisation. Cette notice peut être soit la notice d'instructions originale, soit une traduction de cette notice, auquel cas la notice originale doit également être fournie. Sont considérées comme notices d'instructions originales toutes les notices d'instructions, quelle que soit leur langue, publiées par le fabricant de machines.

§

Élaborer le dossier technique

Le fabricant de machines doit élaborer un dossier technique conformément à l'Annexe VII de la Directive Machines. Ce dossier technique :

- doit contenir tous les plans, calculs, protocoles de contrôle et documents pertinents pour le respect des principes de la Directive Machines en matière de sécurité et de santé ;
- doit être conservée pendant au moins 10 ans après le dernier jour de fabrication de la machine (ou du type de machine) ;
- doit être fournie aux autorités sur demande justifiée.

Remarque : La Directive Machines ne peut générer l'obligation pour le fabricant de fournir le dossier technique complet à l'acheteur (utilisateur) de la machine.

Déclaration de conformité

Si le fabricant a construit sa machine conformément à la Directive Machines, il doit confirmer légalement le respect de ses exigences en établissant une déclaration de conformité et en marquant la machine (marquage CE). La machine pourra alors être mise sur le marché dans l'espace économique européen.

La Directive Machines explique le processus complet d'évaluation de la conformité. On distingue deux processus selon les machines (→ « Procédure européenne d'évaluation de la conformité pour les machines et composants de sécurité » page §-4) :

- **Processus standard :** les machines non listées explicitement à l'annexe IV sont soumises à la procédure standard.
  Les exigences décrites au § « Exigences essentielles de santé et de sécurité » de l'annexe I de la Directive Machines doivent être remplies. Le fabricant appose alors la marque CE sous sa propre responsabilité, sans intervention d'un organisme de contrôle ou d'une autorité (« autocertification »). Il doit cependant réunir le dossier technique au préalable, afin de pouvoir le fournir aux autorités nationales sur demande.
- **Procédure pour les machines listées à l'annexe IV:** les machines présentant des risques particulièrement élevés sont soumises à une procédure particulière.
  L'annexe IV de la Directive Machines contient une liste des machines et composants de sécurité, dont font partie les équipements de protection électro-sensibles tels que les barrières immatérielles de sécurité et les scrutateurs laser. Les exigences décrites au § « Exigences essentielles de santé et de sécurité » de l'annexe I de la Directive Machines doivent au préalable être remplies.
  S'il existe pour ces machines ou composants de sécurité des normes harmonisées couvrant l'ensemble des exigences, le certificat de conformité peut être délivré par trois moyens :
  - autocertification
  - examen CE de type effectué par un organisme de contrôle notifié
  - application d'un système de management de la qualité contrôlé et exhaustif

  S'il n'existe pas de normes harmonisées pour les machines ou si la machine ou des parties de la machine n'ont pas été construites suivant des normes harmonisées, l'attestation de conformité ne peut être obtenue que comme suit :
  - examen CE de type effectué par un organisme de contrôle notifié : lors de la vérification par un organisme notifié, le fabricant doit mettre sa machine et les documents techniques correspondants à disposition pour qu'un « examen CE de type » puisse déterminer si la machine satisfait aux exigences essentielles de santé et de sécurité. L'organisme notifié vérifie la conformité avec la directive et établit une attestation CE de type présentant les résultats des tests.
  - application d'un système de management de la qualité contrôlé et exhaustif : le système de qualité doit garantir la conformité aux exigences de la Directive Machines et être contrôlé par un organisme notifié. Le fabricant est d'une manière générale responsable de l'application efficace et correcte du système de qualité. Voir aussi l'annexe X de la Directive Machines.



Marquage CE de la machine

Une fois toutes les conditions remplies, la marque CE doit être apposée sur la machine.

Attention ! Le marquage CE ne peut être apposé que si la machine respecte toutes les directives européennes qui lui sont applicables (c'est à cette condition qu'un produit peut être mis sur le marché dans l'espace économique européen).

§

Cas particulier : machine incomplète

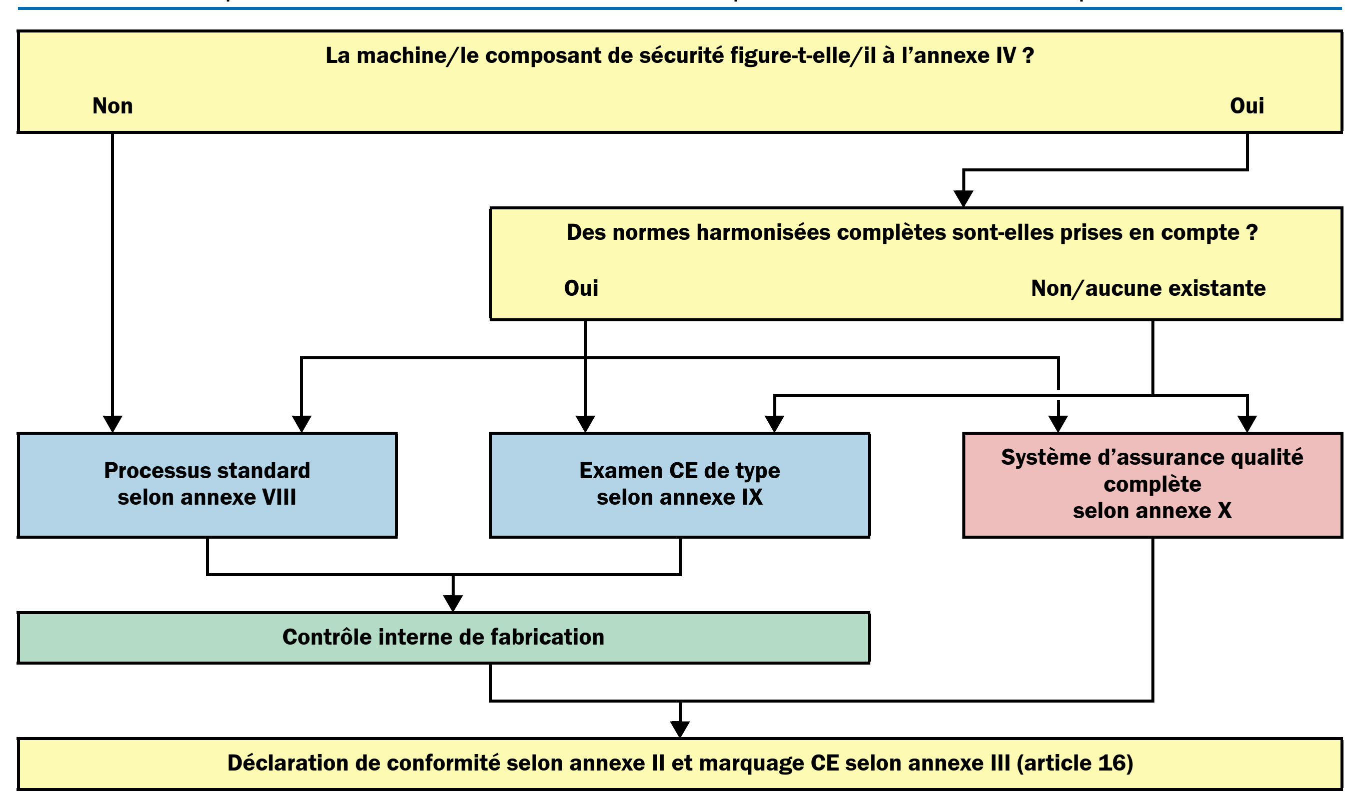
Souvent, on fabrique et on livre des machines, modules ou composants de machines qui sont très proches de la définition d'une machine, mais qui ne peuvent pas être considérés comme une **machine** au sens de la Directive Machines. La Directive Machines définit comme « quasi-machine » un ensemble qui constitue presque une machine, mais qui ne peut assurer à lui seul une application définie. Par ex., un robot industriel seul représente une quasi-machine. Une quasi-machine est uniquement destinée à être incorporée ou assemblée à d'autres machines ou à d'autres quasi-machines ou équipements en vue de constituer une machine au sens de la directive.

Les quasi-machines peuvent ne pas remplir toutes les exigences de la Directive Machines. Celle-ci réglemente donc leur libre circulation par une procédure spécifique :

- Le fabricant doit respecter toutes les exigences essentielles de la Directive Machines raisonnablement applicables en matière de sécurité et de santé.
- Le fabricant doit établir une déclaration d'incorporation. Celle-ci décrit quelles sont les exigences essentielles de la directive qui sont applicables et satisfaites. Un dossier technique similaire à celui d'une machine doit être élaboré et conservé.
- À la place d'une notice d'instruction, le fabricant doit établir de la même manière une notice d'assemblage et la fournir avec chaque quasi-machine. La langue de cette notice d'assemblage peut être convenue entre le fabricant et l'utilisateur (intégrateur).

→ Cf. également § « Organismes de contrôle, assurances et autorités » page §-8.

Procédure européenne d'évaluation de la conformité pour les machines et composants de sécurité



§

Normes

Les normes sont des conventions adoptées entre différents groupes d'intérêts (fabricants, utilisateurs, organismes de contrôle, autorités chargées de la protection du travail et gouvernement). Contrairement à l'opinion répandue, les normes ne sont pas élaborées ou imposées par les gouvernements ou les autorités. Les normes décrivent l'état de la technique au moment de leur élaboration. Ces cent dernières années, les normes nationales ont évolué vers des standards applicables au niveau mondial. Selon le lieu d'utilisation de la machine et des produits, diverses dispositions légales peuvent s'appliquer, exigeant l'application de différentes normes. Le bon choix des normes à appliquer est, pour le fabricant de machines, un outil facilitant le respect des obligations légales.

Organisations et structures de normalisation dans le monde

ISO (International Standardization Organisation)

L'ISO est un réseau mondial d'organismes de normalisation de 157 pays. L'ISO élabore et publie des normes internationales en se concentrant sur les technologies non électriques.



CEI (Commission électrotechnique internationale)

La Commission électrotechnique internationale (CEI) est un organisme mondial qui élabore et publie des normes internationales dans le domaine général de l'électrotechnique (par ex. électronique, télécommunications, compatibilité électromagnétique, production d'énergie) et des technologies apparentées.

Organisations et structures de normalisation en Europe

CEN (Comité européen de normalisation)

Le CEN est un groupe d'organismes de normalisation des États membres de l'UE, de l'AELE ainsi que des futurs membres de l'UE. Le CEN élabore les normes européennes (EN) dans le domaine non électrique. Pour éviter que ces normes présentent des obstacles au commerce, le CEN s'efforce de travailler en étroite collaboration avec l'ISO. Le CEN détermine par un vote si les normes ISO doivent être reprises et les publie comme normes européennes.

CENELEC
(Comité européen de normalisation électrotechnique)

Le CENELEC est l'équivalent du CEN dans le domaine de l'électrotechnique ; il élabore et publie les normes européennes (EN) dans ce domaine. Comme entre le CEN et l'ISO, le CENELEC reprend de plus en plus les normes CEI et leur numérotation.

Organisations et structures de normalisation nationales

En règle générale, chaque État membre de l'UE possède son propre organisme de normalisation, par ex. DIN, ON, BSI, AFNOR. Ces organismes élaborent et publient les normes nationales conformément aux obligations légales de l'État membre correspondant. Pour garantir de manière uniforme la sécurité et la santé dans l'Union européenne et abolir les barrières commerciales, les normes européennes sont reprises par les organismes de normalisation nationaux. Les rapports entre les normes nationales et les normes européennes sont régis par les principes suivants :

- S'il existe des normes nationales équivalentes à des normes européennes reprises, les normes nationales doivent être retirées.
- S'il n'existe aucune norme européenne applicable pour certains aspects ou certaines machines, les normes nationales existantes peuvent être appliquées.
- Un organisme de normalisation national ne peut élaborer une nouvelle norme que s'il a fait part de son projet et qu'aucun intérêt ne s'est manifesté au niveau européen (de la part du CEN ou du CENELEC).

§

Normes européennes relatives à la sécurité des machines

Pour pouvoir mettre en pratique de manière uniforme les exigences et les objectifs définis dans les directives européennes, des normes techniques doivent décrire en détail et concrétiser ces exigences.
On appelle normes harmonisées les normes qui concrétisent les exigences des directives européennes de telle manière que le respect de la norme permet de supposer la conformité aux directives.
L'état de la norme est indiqué par différentes abréviations :

- une norme portant le préfixe « EN » est reconnue et applicable dans tous les États de l'UE ;
- une norme portant le préfixe « prEN » est à l'état de projet ;
- une norme contenant en plus le préfixe « TS » est une spécification technique et a la valeur d'un projet de norme ; il en existe deux types, CLC/TS et CEN/TS ;
- un document contenant en plus le préfixe « TR » est un rapport sur l'état de la technique.

Naissance d'une norme européenne harmonisée :

1. La Commission européenne, en tant qu'organe exécutif de l'UE, mandate le CEN ou le CENELEC pour élaborer une norme européenne afin de concrétiser une directive.
2. Cette élaboration s'effectue dans des comités internationaux qui définissent les spécifications techniques nécessaires pour répondre aux principales exigences de sécurité de la ou des directives.
3. Dès que la norme est adoptée, elle est promulguée au Journal officiel de l'UE. En outre, la norme doit être publiée dans au moins un État membre (par ex. NF EN ######). Elle est alors considérée comme norme européenne harmonisée.

- Une norme européenne harmonisée sert de référence et remplace toutes les normes nationales sur le même thème.
- La conformité d'un composant de sécurité ou d'une machine à une norme harmonisée entraîne l'hypothèse qu'il existe une conformité aux exigences essentielles de sécurité et de santé définies dans les directives, par ex. la Directive Machines (effet de présomption).

→ Aperçu de la normalisation : http://www.normapme.com/
→ Vous trouverez une liste des normes ayant un effet de présomption par rapport aux directives sur le site http://ec.europa.eu/.

Les différents types de normes

On distingue trois différents types de normes :

Normes A

(Normes fondamentales de sécurité) Elles contiennent des notions de base, des principes de conception et les aspects généraux applicables à toutes les machines.

Normes B

(Normes génériques de sécurité) Elles traitent d'un aspect ou d'un équipement de sécurité applicable à un large éventail de machines. Les normes B sont à leur tour réparties en deux catégories :

- les normes B1 sur des aspects spécifiques de sécurité, par ex. la sécurité électrique des machines, le calcul des distances de sécurité, les exigences envers les systèmes de commande
- les normes B2 relatives aux dispositifs de sécurité, par ex. les systèmes de commande bimanuelles, les protecteurs et les équipements de protection électrosensibles

Normes C

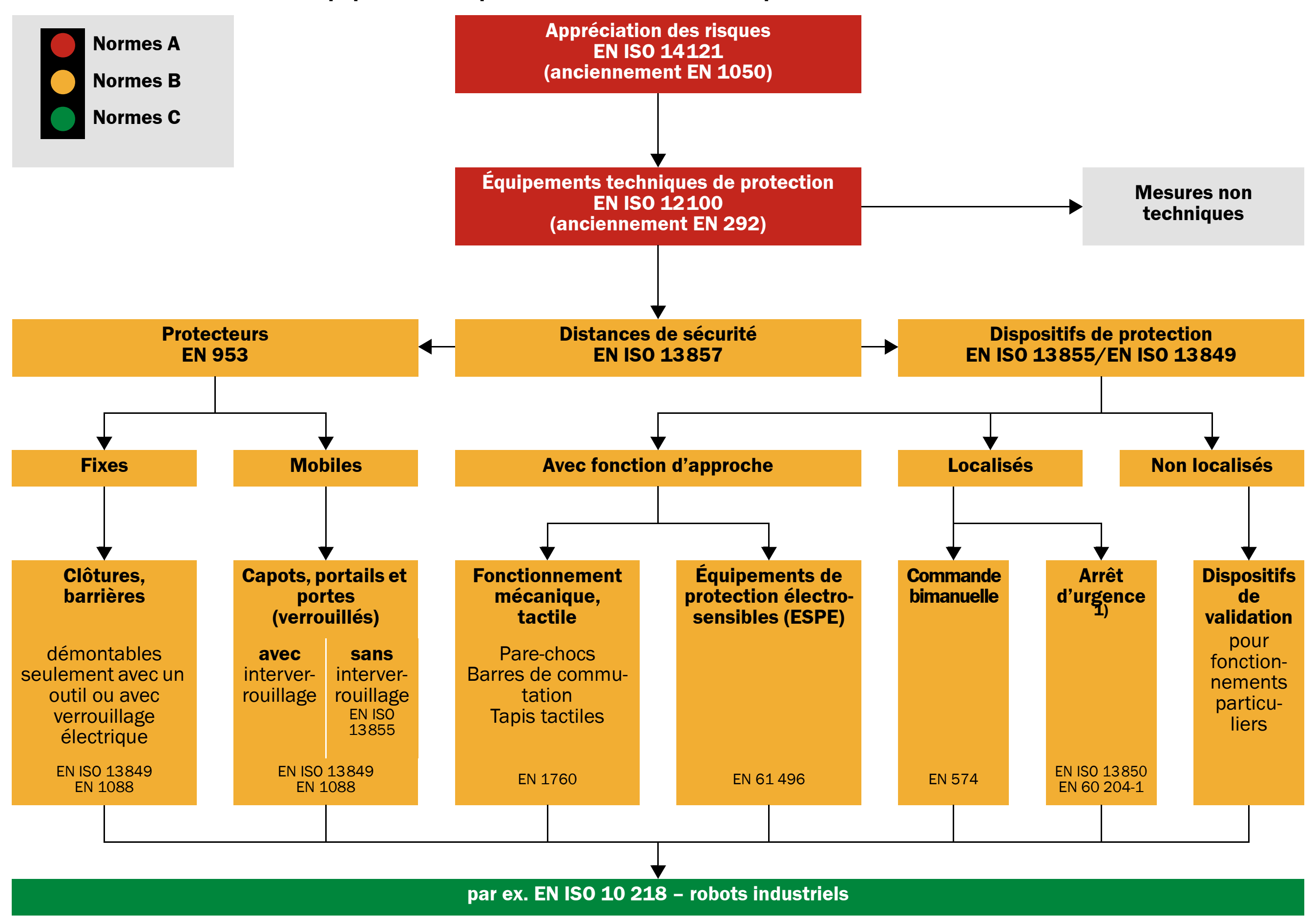
Les normes C contiennent toutes les exigences de sécurité relatives à une machine ou à un type de machine spécifique. Lorsqu'une norme de ce type existe, elle est prioritaire sur les normes A ou B.
Cependant, une norme C peut faire référence à une norme B ou A. Dans tous les cas, les exigences de la Directive Machines doivent être respectées.

De nombreuses normes A et B ainsi que des normes C importantes sont en cours de révision. Cela entraîne une nouvelle numérotation des séries de normes EN ISO. Toutefois, il existe en général un délai de transition. Ainsi, une norme juste révisée pourra entrer en vigueur effectivement dans 5 ou 6 ans seulement.

→ Vous trouverez en annexe une liste des normes importantes au § « Aperçu des normes applicables » page i-5.

§

Possibilités de sélection des équipements de protection et normes correspondantes



1) L'arrêt d'urgence est une mesure de sécurité, pas un équipement de protection !

- L'application de normes, qu'elles soient harmonisées ou non, n'est pas exigée par la Directive Machines. Cependant, l'application de normes harmonisées entraîne une « présomption de conformité », c'est-à-dire la supposition que la machine répond aux exigences de la Directive Machines.
- S'il existe une norme C pour un type de machine, elle est prioritaire sur toutes les autres normes A et B ainsi que sur les indications du présent guide. Dans ce cas, seule la norme C appliquée constitue la base de la présomption de conformité à la directive correspondante.

§

Organismes de contrôle, assurances et autorités

Organismes de contrôle

Les organismes de conseil en sécurité
Les entreprises qui veulent savoir si leurs machines sont conformes aux directives européennes et normes en vigueur peuvent consulter un organisme de conseil en sécurité.

Les organismes agréés
Les organismes agréés sont des organismes de contrôle qui certifient le respect de procédures et de critères de contrôle des institutions nationales reconnues. Il s'agit notamment d'organismes professionnels et de caisses de prévoyance qui disposent généralement d'établissements de contrôle technique très compétents.

Les organismes notifiés
Chaque État de l'UE est tenu de désigner des organismes de contrôle conformément aux exigences minimales définies par la directive Machine et de déclarer ces organismes à la Commission européenne à Bruxelles.
Seuls ces organismes sont habilités à réaliser des examens CE de type et à délivrer des attestations CE de type pour les machines et les composants de sécurité figurant à l'annexe IV de la Directive Machines. Tous les organismes notifiés ne peuvent pas tester tous les types de produits ou de machines : de nombreux organismes notifiés ne sont habilités que pour des domaines d'activité particuliers.

Assurances

Les caisses de prévoyance professionnelles
En Allemagne, les caisses de prévoyance professionnelles et d'autres organismes supportent l'obligation légale d'assurance contre les accidents. Les caisses de prévoyance professionnelles sont organisées en associations professionnelles pour mieux répondre aux exigences spécifiques de chaque branche d'activité.

Les compagnies d'assurance
De nombreuses compagnies d'assurance possèdent des organismes de conseil qui offrent des conseils techniques compétents, en particulier en vue d'éviter des risques de recours en responsabilité qui résulteraient d'une méconnaissance ou du non-respect d'exigences légales.

Autorités de surveillance des marchés

Dans les États de l'UE et de l'AELE, la protection du travail et la surveillance des marchés sont sous la responsabilité d'autorités nationales, par exemple :

- en France, le ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé ;
- en Belgique, le Service public fédéral (SPF) Emploi, travail et concertation sociale ;
- en Suisse, le Secrétariat d'État à l'économie (SECO) est chargé de la surveillance des marchés, tandis que l'application des règles est prise en charge par la Suva (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt), qui se distingue également par sa grande compétence technique.

→ Vous trouverez les principales adresses utiles en annexe, au § « Liens utiles » page i-7.

Principes de la responsabilité du fait des produits

La notion de **responsabilité du fait des produits** est souvent utilisée pour englober tous les cas de responsabilité d'un fabricant ou d'un revendeur vis-à-vis d'un produit (y compris la responsabilité en cas de malfaçon du produit ou de dommages causés par celui-ci). En droit, il existe cependant des différences selon le type de dommage ou leur cause. On distingue plusieurs niveaux de responsabilité : contractuelle, délictuelle, du fait des produits défectueux.



La **responsabilité contractuelle** concerne la conformité d'un bien au contrat et ne peut donc être invoquée que par les parties qui ont conclu le contrat. Elle est régie dans l'Union européenne notamment par la Directive 1999/44/CE et ses transpositions dans le droit national des pays membres.

À l'extérieur des relations contractuelles, **responsabilité produit** comprend pour l'essentiel les aspects suivants :

- la **responsabilité délictuelle** (en droit français, régie par le code civil). La responsabilité délictuelle intervient lorsque quelqu'un inflige volontairement ou par négligence un dommage à un tiers (dans ce contexte, au moyen d'un produit qu'il a fabriqué). Contrairement à la responsabilité contractuelle, c'est une responsabilité légale, qui peut donc être invoquée par des personnes étrangères au contrat.
- La **responsabilité du fait des produits défectueux** entre dans le même cadre : elle peut être invoquée par les parties au contrat aussi bien que par les tiers. Elle est régie par la Directive européenne 85/374/CEE qui doit être transposée dans tous les pays de l'Union européenne. En France, il s'agit notamment des articles 1386-1 à -18 du Code civil. Par ailleurs, il existe des réglementations comparables dans de nombreux pays hors de l'UE. On trouvera ci-après un aperçu des dispositions de cette directive, mais seuls les points principaux sont abordés et non toutes les conditions et exclusions ni les détails de la transposition en droit français.

Conditions préalables

La responsabilité du fabricant est engagée par l'art. 1 de la Directive 85/374/CEE :

> « Le producteur est responsable du dommage causé par un défaut de son produit. »

Cette responsabilité est encadrée par plusieurs conditions préalables :

Producteur (art. 3 de la directive)

C'est non seulement le producteur d'une matière première, le fabricant d'un produit fini ou d'une partie composante, mais aussi celui qui a mis le produit en circulation, c'est-à-dire l'importateur du produit dans l'EEE ou celui qui commercialise le produit d'un autre fabricant sous son nom ou sa propre marque (« quasi-fabricant »), et même le fournisseur d'un produit dont le producteur ou l'importateur ne peut être identifié.

Produit défectueux (art. 6 de la directive)

C'est un produit qui n'offre pas toute la sécurité à laquelle on pourrait s'attendre en tenant compte de toutes les circonstances.

Les dommages couverts (art. 9) sont les dommages causés par la mort ou les lésions corporelles ainsi que les dommages matériels (mais pas sur le produit lui-même et uniquement sur les biens habituellement destinés à une utilisation ou une consommation privée et principalement utilisés comme tels par la personne ayant subi les dommages). L'indemnisation des dommages matériels fait l'objet d'une franchise de 500 € ; les victimes de dommages disposent d'un délai de trois pour demander réparation à partir de la date à laquelle elles ont eu connaissance du dommage, du défaut et de l'identité du producteur. Par ailleurs, la responsabilité du producteur ne peut plus être engagée dix ans après la date de mise en circulation du produit.

Contrairement aux recours au titre de la garantie contractuelle ou de la responsabilité délictuelle, la responsabilité du fait des produits défectueux ne nécessite aucune **faute** et peut donc être invoquée même si le soin nécessaire a été apporté dans le cadre de la mise en circulation (et donc en l'absence de négligence). Il s'agit d'une responsabilité dite par mise en danger, pour laquelle il suffit qu'un danger survienne et se réalise ultérieurement dans le cadre d'une activité autorisée.

Obligations du fabricant

On peut citer différents types de défauts qui peuvent entraîner la responsabilité du fait des produits défectueux, par exemple :

Défaut de conception

Il s'agit des défauts qui s'expliquent par la conception du produit, par ex. la conception technique ou le choix des matériaux, qui ont un effet sur l'ensemble de la production.

Défaut de fabrication

Il s'agit des défauts présents sur des produits ou des lots ponctuels, le fabricant étant également responsable des erreurs dites grossières

Défaut d'instruction

Il existe un défaut d'instruction lorsque des instructions défaillantes sur le produit (par ex. dans les notices d'instructions) entraînent des risques, ce qui inclut également les avertissements absents ou dissimulés.

Les défauts couverts par la responsabilité du fait des produits défectueux sont ceux qui compromettent la sécurité, il ne s'agit donc pas des défauts qui portent seulement atteinte à l'utilité du bien (vices de fabrication). Dans ce contexte, il importe de veiller particulièrement au respect des directives légales contraignantes - si un défaut repose (uniquement) sur leur application, le producteur n'est pas tenu pour responsable. Par exemple, les normes techniques (normes européennes EN ou normes nationales NF, etc.) doivent être considérées comme le seuil minimum de sécurité obligatoire.

§

Les obligations du fabricant peuvent dépasser le respect des lois ou des normes techniques, lorsque l'on aurait pu s'attendre de manière justifiée à des mesures allant plus loin pour garantir la sécurité du produit : les règles de l'art et de la technique sont à prendre en compte. Les autres dispositions de la directive imposent la charge de la preuve à la victime et encadrent les conditions d'exonération de la responsabilité du producteur. Une jurisprudence de la Cour de justice des communautés européennes a par ailleurs exclu l'application d'un autre régime national de responsabilité sans faute si les conditions nécessaires à l'application de la directive européenne s'appliquent.

Montant des dommages

En principe, le fabricant doit dédommager la victime du sinistre à hauteur de l'intégralité du préjudice subi. La directive européenne prévoit cependant une franchise de 500 € pour les dommages matériels. Pour les dommages personnels, les États membres peuvent fixer une limite à la responsabilité globale du producteur en cas de mort ou de lésions corporelles causées par une série d'articles présentant les mêmes défauts, sans que cette limite soit inférieure à 70 millions d'euros.

Le fabricant peut s'assurer en contractant une police d'assurance en responsabilité du fait des produits d'un montant suffisant.

Résumé : Lois, directives, normes, responsabilité

En tant que fabricant d'une machine, vous devez respecter les exigences de la Directive Machines, entre autres :

- Respecter toutes les exigences essentielles de la Directive Machines en matière de sécurité et de santé.
- Planifier l'intégration de la sécurité dès la conception.
- Appliquer soit la procédure standard, soit la procédure applicable aux machines de l'annexe IV de la Directive Machines pour déclarer la conformité de votre machine.
- Établir le dossier technique de la machine, contenant en particulier tous les documents de conception relatifs à la sécurité.
- Fournir une notice d'instructions dans la langue officielle du pays d'utilisation. La version d'origine est également à joindre.
- Remplir une déclaration de conformité et apposer sur la machine ou le composant de sécurité le marquage CE.

En tant qu'exploitant d'une machine, vous devez respecter les exigences de la Directive Sociale (directive relative à l'utilisation des équipements de travail) :

- Respecter les dispositions de la Directive Sociale.
- S'informer pour savoir s'il existe d'autres exigences nationales (par ex. contrôle des installations, intervalles de maintenance ou d'entretien, etc.) et, le cas échéant, les respecter.

Normes

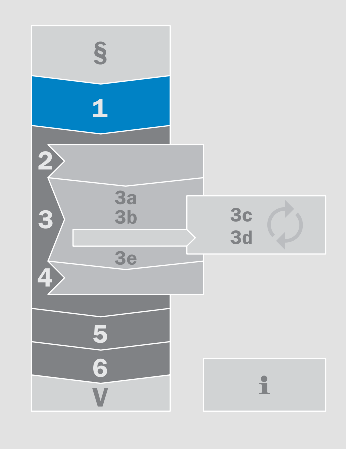
- Les normes techniques concrétisent les objectifs définis dans les directives européennes.
- L'application de normes harmonisées entraîne une « présomption de conformité », c'est-à-dire la supposition que la machine répond aux exigences de la directive correspondante. Si vous sélectionnez et respectez correctement les normes applicables à votre machine ou votre installation, vous pouvez supposer que celle-ci respecte les obligations légales. Dans certains cas particuliers, les obligations du fabricant peuvent aller au-delà du contenu des normes, par ex. lorsqu'une norme n'est plus à la pointe de la technique.
- Les normes sont réparties en trois groupes : normes A (normes fondamentales), normes B (normes de groupe) et normes C (normes de sécurité de machines). Lorsqu'une norme C existe, elle est prioritaire sur les normes A ou B.

Responsabilité produit

- Pour éviter les recours en responsabilité du fait des produits défectueux, vous devez notamment :
  - Respecter les normes en vigueur.
  - Vérifier s'il existe des mesures plus strictes à respecter pour garantir la sécurité d'un produit.
- Éviter les erreurs grâce à des procédures efficaces d'assurance-qualité et de contrôle-qualité.
- Réduire les risques résiduels pour le fabricant en prenant une assurance suffisante.

Il reste à préciser que, sauf cas où la charge de la preuve est renversée, c'est en principe à la victime d'un éventuel sinistre de prouver qu'un produit défectueux a causé des dommages corporels ou matériels et se trouve à l'origine des dommages survenus. Cela n'est pas toujours possible sans problèmes, en particulier lorsque plusieurs causes possibles entrent en jeu.

7088620/09-2011

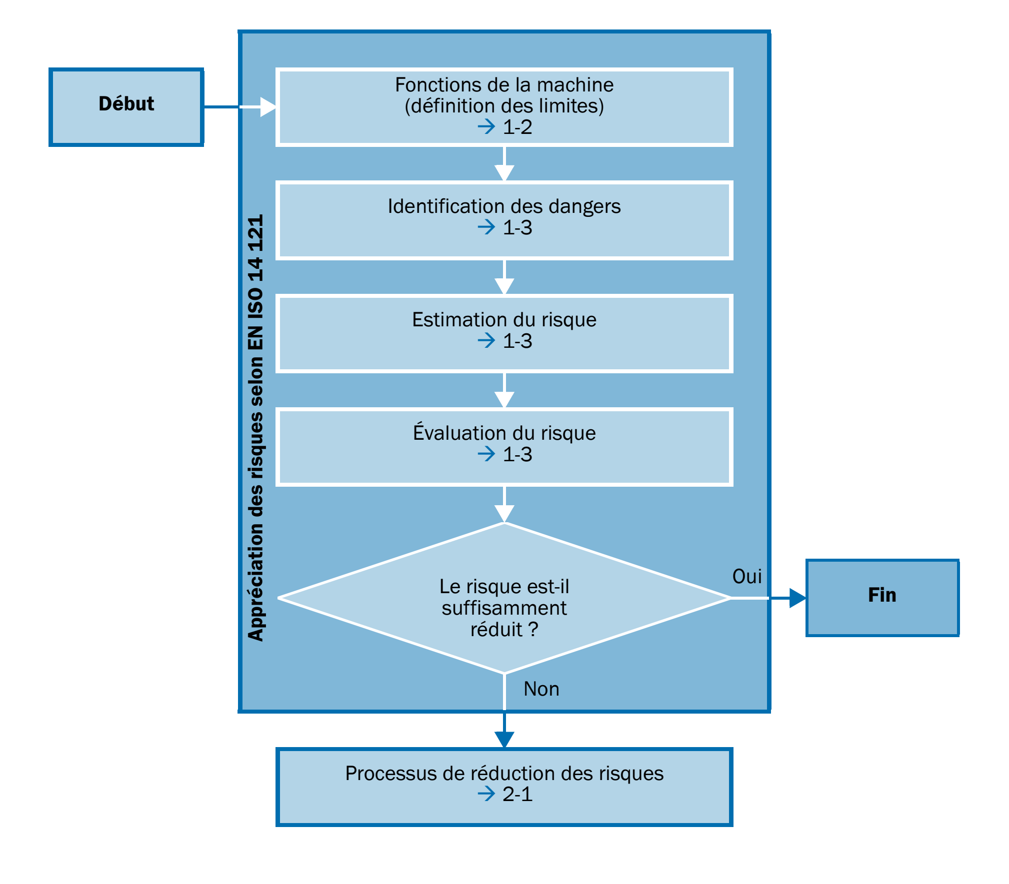


Étape 1 : Appréciation des risques

Lors de la conception d'une machine, les risques possibles doivent être analysés et, si nécessaire, des mesures doivent être prévues pour protéger les opérateurs des risques existants.
Pour assister le fabricant de machines dans cette tâche, les normes définissent et décrivent le processus d'appréciation des risques. Une appréciation des risques est une suite d'étapes logiques permettant l'analyse et l'évaluation systématiques des risques. La machine doit être conçue et construite en tenant compte des résultats de l'appréciation des risques.
Lorsque c'est nécessaire, l'appréciation des risques est suivie d'une réduction des risques, étape au cours de laquelle des mesures de protection adéquate sont mises en œuvre. L'application de mesures de protection ne devrait pas générer de nouveaux risques. Il peut être nécessaire de répéter tout le processus d'évaluation et de réduction des risques pour éliminer autant que possible les dangers et réduire suffisamment les risques identifiés ou supplémentaires.
De nombreuses normes C présentent l'appréciation des risques en fonction de la machine et des applications.
Lorsqu'aucune norme C n'est applicable ou si les normes existantes sont insuffisantes, on peut utiliser les informations des normes A et B.

→ Appréciation des risques – norme A : EN ISO 14121
→ Réduction des risques – norme A : EN ISO 12 100-1, EN ISO 12 100-2

Processus d'appréciation des risques



- Le processus doit être appliqué à tous les dangers. Il doit être répété (processus itératif) tant que le risque résiduel n'est pas réduit à un niveau acceptable.
- Les résultats de l'appréciation des risques et la procédure appliquée doivent être consignés dans le dossier technique.

1

Fonctions de la machine (définition des limites)

L'appréciation des risques commence en définissant les fonctions de la machine. Il peut s'agir :

- des spécifications de la machine (ce qu'elle produit, sa productivité maximale, les matières premières prévues) ;
- de son encombrement et du lieu d'installation prévu ;
- de sa durée de vie prévue ;
- des fonctions et modes de fonctionnement souhaités ;
- des dysfonctionnements et défaillances à prévoir ;
- des personnes prenant part au processus de la machine ;
- des produits associés à la machine ;
- de l'usage correct mais aussi des comportements inopinés des opérateurs ou des mauvaises utilisations raisonnablement prévisibles (abus) de la machine

Mauvaise utilisation prévisible

Exemples de comportements inopinés raisonnablement envisageables des opérateurs ou de mauvaises utilisations prévisibles :

- perte de contrôle de l'opérateur sur la machine (en particulier pour les machines tenues à la main ou mobiles) ;
- comportement réflexe de personnes en cas de dysfonctionnement, de défaillance ou de panne pendant l'utilisation de la machine ;
- comportement erroné par manque de concentration ou d'attention ;
- comportement erroné dû à l'exécution d'une tâche sur le principe du « chemin de moindre résistance » ;
- comportement lié à la pression de maintenir la machine en service à tout prix ;
- comportement de groupes de personnes spécifiques (par ex. enfants, jeunes, personnes handicapées)

Dysfonctionnements et défaillances à prévoir

Les dysfonctionnements et défaillances des composants nécessaires aux fonctions de la machine (en particulier du système de commande) génèrent un fort potentiel de danger. Exemples :

- changement de direction de laminage (mains happées)
- déplacement d'un robot hors de sa zone de travail habituelle

1

Identification des dangers

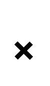
Une fois les fonctions de la machine définies vient l'étape la plus importante de l'appréciation des risques. Il s'agit de procéder à l'identification systématique des dangers, situations dangereuses et/ou événements dangereux prévisibles.

En particulier, le fabricant de machines doit tenir compte des dangers suivants…	**… dans toutes les phases de vie de la machine.**
■ dangers mécaniques	■ transport, assemblage et installation
■ dangers électriques	■ mise en service
■ dangers thermiques	■ réglage
■ dangers dus au bruit	■ fonctionnement normal et dépannage
■ dangers dus aux oscillations	■ maintenance et nettoyage
■ dangers dus au rayonnement	■ mise hors service, démontage et élimination
■ dangers dus aux matériaux et aux substances	
■ dangers dus à la négligence des principes ergonomiques lors de la conception des machines	
■ dangers de glissade, trébuchement et chute	
■ dangers liés à l'environnement d'utilisation de la machine	
■ dangers résultant de combinaisons des dangers ci-dessus	

Estimation et évaluation du risque

Une fois les dangers identifiés, chaque situation dangereuse envisagée doit faire l'objet d'une **estimation du risque**.





Risque = **Sévérité des dommages** × **Probabilité d'occurrence**

Le risque associé à la situation dangereuse dépend des éléments suivants :

- l'étendue des dommages que ce danger peut causer (blessure légère ou grave, etc.) et
- la probabilité d'occurrence de ces dommages. Celle-ci résulte :
  - de l'exposition au danger d'une / des personnes,
  - de l'occurrence d'un événement dangereux et
  - des possibilités techniques et humaines d'éviter ou de limiter les dommages.

Pour évaluer les risques, il existe divers outils : tableaux, graphes, méthodes numériques, etc.

L'**évaluation du risque** détermine, à partir des résultats de l'estimation du risque, s'il est nécessaire d'utiliser des mesures de protection et quand la réduction requise des risques est atteinte.

→ Outils et tableaux : Rapport technique – ISO/TR 14121-2

Documentation

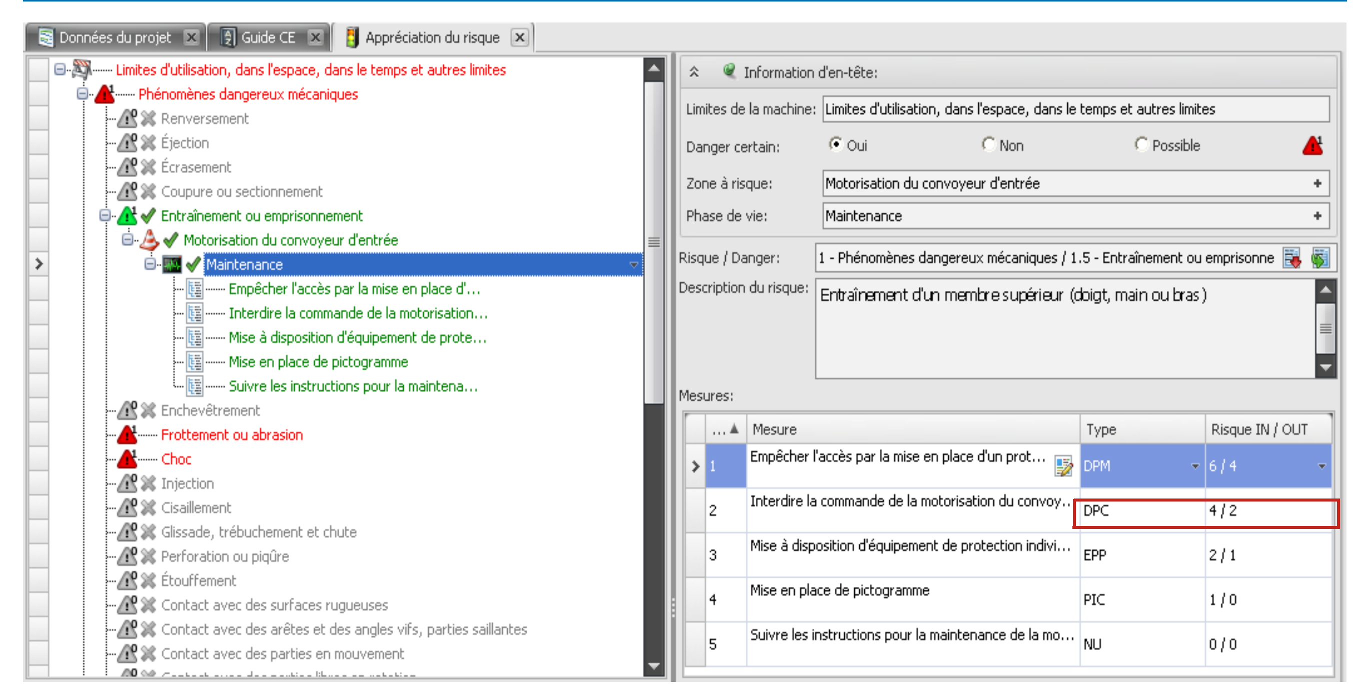
La documentation relative à l'appréciation des risques doit indiquer la procédure appliquée, les résultats visés ainsi que les renseignements suivants :

- données sur la machine, par ex. spécifications, limites, utilisation correcte, etc. ;
- hypothèses importantes utilisées, par ex. charges, valeurs de résistance, coefficients de sécurité ;
- tous les dangers, situations dangereuses et événements dangereux pris en compte ;
- les données utilisées et leur source, par ex. récits d'accidents et expérience de réduction des risques sur des machines comparables ;
- une description des mesures de protection appliquées ;
- une description des objectifs de réduction des risques visés au moyen de ces mesures de protection ;
- les risques résiduels associés à la machine ;
- tous les documents établis pendant l'appréciation des risques.

La Directive Machines n'exige pas que la documentation relative à l'appréciation des risques soit fournie avec la machine !

1

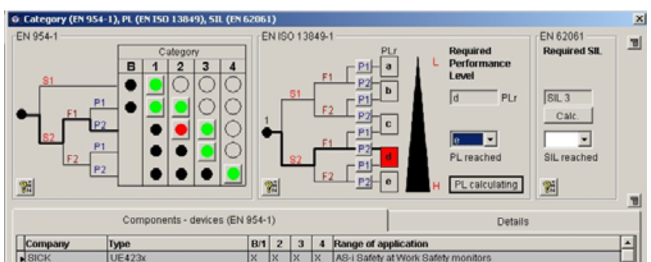
Appréciation des risques avec Safexpert

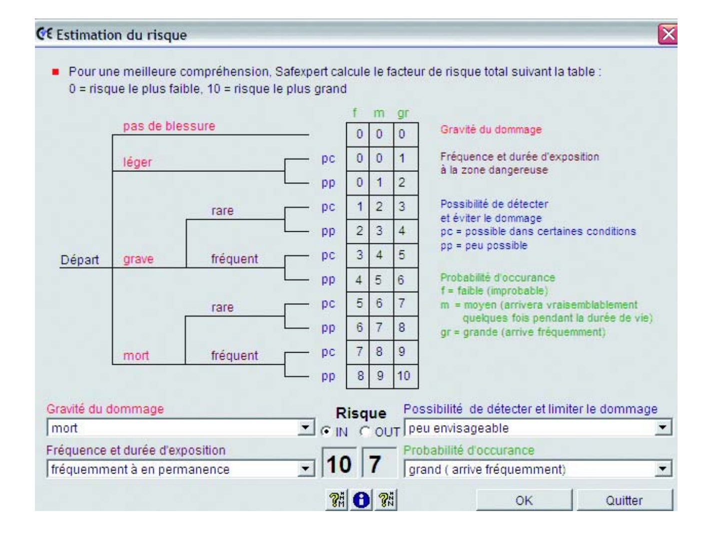


Ce processus d'appréciation des risques est reproduit dans Safexpert®, un logiciel de gestion de la sécurité des machines et installations. Il simplifie la démarche en présentant une liste des dangers, des arbres de sélection pour structurer l'appréciation des risques et un schéma d'évaluation du risque ainsi que du niveau de sécurité exigé pour les mesures relatives au système de commande. L'utilisateur est guidé pas à pas dans les exigences légales et normatives. Le gestionnaire de normes permet d'assurer l'actualisation permanente des normes nécessaires.

Les dangers sont pris en compte séparément pour chaque point dangereux et chaque phase de vie de la machine. L'évaluation individuelle des dangers permet d'optimiser le choix des mesures à appliquer pour réduire les risques. Safexpert utilise une combinaison de graphiques et de tableaux des risques. L'évaluation est présentée avant (IN) et après (OUT) l'application de la mesure de sécurité (par ex. équipement de protection). Le risque est évalué sur une échelle de 0 (aucun risque) à 10 (risque maximum).

À l'aide de Safexpert, l'utilisateur peut déterminer, au fil de l'appréciation des risques, le niveau PL requis pour la définition des mesures techniques relatives au système de commande. Pour calculer le niveau PL atteint, Safexpert est lié au logiciel SISTEMA[1)]. Safexpert extrait le résultat de SISTEMA pour que l'utilisateur puisse procéder à la validation finale. Pour la vérification dans SISTEMA, une bibliothèque de composants SICK mise à jour en permanence est disponible.





Safexpert ne sert pas seulement à l'appréciation des risques.
Ce logiciel permet de réaliser et de documenter efficacement l'ensemble du processus de conformité selon la Directive Machines.

→ Une version de démonstration avec visite guidée de Safexpert est disponible sur Internet : http://www.sick.com/safexpert

1) SISTEMA a été mis au point par l'organisme allemand IFA pour vous aider à concevoir l'architecture et les calculs de votre solution de sécurité conformément à la norme EN ISO 13849-1.

Résumé : Appréciation des risques

Généralités

- Réaliser une appréciation des risques pour tous les dangers envisageables. Ce processus itératif doit prendre en compte tous les dangers et risques jusqu'à ce qu'il ne subsiste au maximum que des risques résiduels acceptables.

Processus d'appréciation des risques

- Commencer l'appréciation des risques en définissant les fonctions de la machine.
- Dans l'appréciation des risques, tenir compte en particulier des dysfonctionnements et défaillances envisageables.
- Ensuite, identifier les dangers (mécaniques, électriques, thermiques, etc.) émanant de la machine. Tenir compte de ces dangers dans toutes les phases de vie de la machine.
- Évaluer les risques liés aux dangers identifiés. Ces risques dépendent de l'étendue et de la probabilité d'occurrence des dommages.
- Documenter les résultats de l'appréciation des risques.

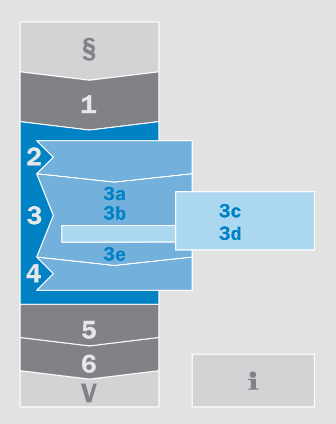
Étapes 2 à 4 : Réduction des risques

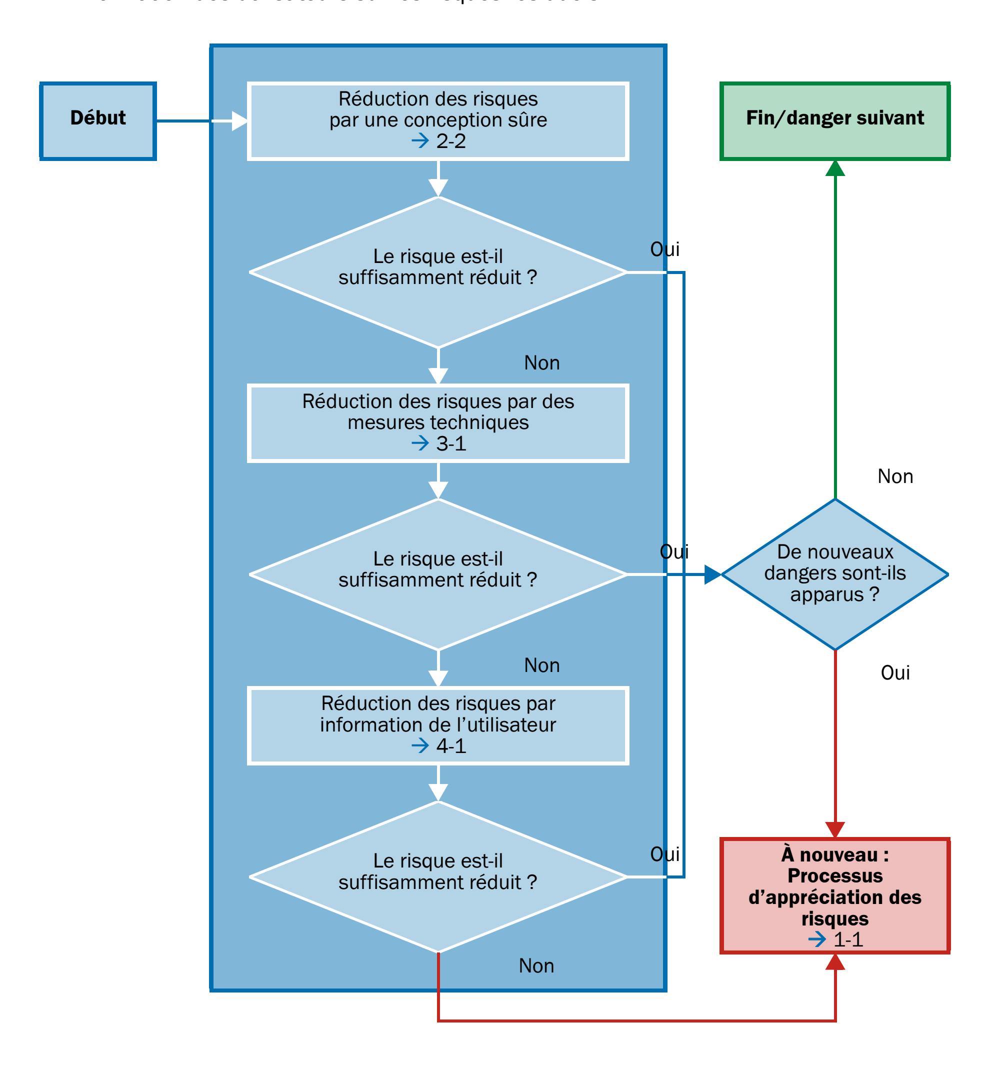
Lorsque l'appréciation des risques a montré que des mesures sont nécessaires pour réduire ces risques, il faut appliquer la méthode en 3 étapes.

La méthode en 3 étapes

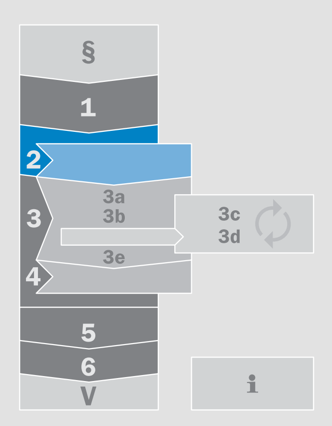
Pour choisir les mesures à mettre en œuvre, le fabricant de machines doit appliquer les principes suivants dans l'ordre indiqué :

1. Conception sûre : éliminer ou réduire les risques dans la mesure du possible (intégration de la sécurité dans la conception et la construction de la machine) ;
2. Mesures techniques de protection : prendre les mesures de protection nécessaires contre les risques impossibles à éliminer par des mesures de conception ;
3. Information des utilisateurs sur les risques résiduels





→ Principes sur le processus de réduction des risques : EN ISO 12100-1, -2 (normes A)



Étape 2 : Conception sûre (sécurité inhérente de la conception)

Une conception sûre est la première et la principale étape du processus de réduction des risques. Les dangers possibles doivent être exclus dès la conception et l'organisation. L'efficacité d'une conception sûre est manifestement la meilleure.

Les aspects la conception sûre concernent la construction de la machine elle-même et les effets mutuels entre les personnes menacées et la machine. Exemples :

- construction mécanique ;
- principe d'utilisation et de maintenance ;
- équipement électrique (sécurité électrique, CEM) ;
- principes d'arrêt en cas d'urgence ;
- circulation des fluides ;
- matières premières et consommables utilisés ;
- fonctions des machines et processus de production.

Dans tous les cas, tous les composants doivent être sélectionnés, utilisés et adaptés afin que la sécurité des personnes soit au premier plan si la machine subit une défaillance. Il faut également s'efforcer d'éviter les dommages à la machine et à son environnement.

Tous les éléments de conception des machines doivent être spécifiés de telle sorte qu'ils fonctionnent dans les limites admissibles. En principe, la conception doit être réalisée de manière aussi simple que possible. Autant que possible, les fonctions de sécurité doivent être clairement séparées des autres fonctions.

Construction mécanique

Le premier objectif de tout projet doit être d'éviter l'apparition même des dangers. Par exemple, on pourra :

- éviter les angles vifs, les coins et les parties saillantes ;
- éviter les points d'écrasement et de cisaillement et les zones d'entraînement ;
- limiter l'énergie cinétique (masse et vitesse) ;
- respecter les principes ergonomiques.

Souvent, le simple bon sens suffit ; sinon, nous renvoyons aux ouvrages spécialisés.

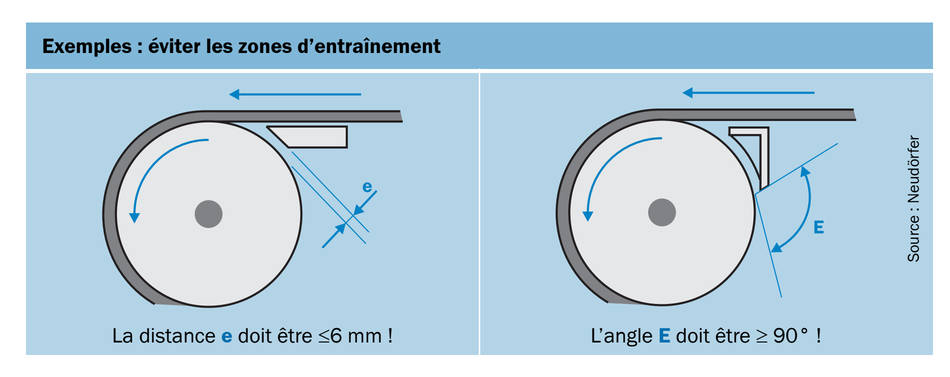
Exemple : éviter les points de cisaillement

Correct

Incorrect

Source : Neudörfer

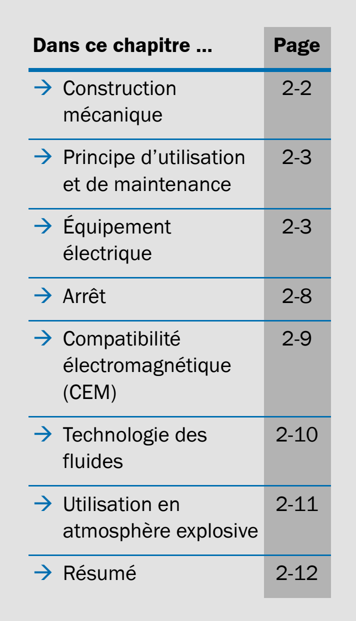
Exemples : éviter les zones d'entraînement



La distance **e** doit être ≤6 mm !

L'angle **E** doit être ≥ 90° !

→ Alfred Neudörfer, Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer Verlag, Berlin u.a., ISBN 978-3-540-21218-8 (3è édition 2005)



Principe d'utilisation et de maintenance

La nécessité de s'exposer à la zone dangereuse doit être aussi réduite que possible. Par exemple, on peut :

- utiliser des postes de chargement et déchargement automatisés ;
- réaliser les travaux de réglage et de maintenance « de l'extérieur » ;
- utiliser des composants fiables et disponibles pour éviter les travaux de maintenance ;
- appliquer des principes d'utilisation clairs et sans équivoque, par exemple un marquage clair des organes de commande.

Code de couleurs

Les organes de commande des boutons-poussoirs ainsi que les témoins lumineux ou les affichages sur écran doivent être repérés par des couleurs. Chaque couleur a une signification particulière.

→ Équipement électrique des machines : EN 60204-1

Signification générale des couleurs pour les organes de commande

Couleur		Signification	Explication
blanc gris noir		Non spécifique	Démarrage de fonctions
vert		Sûr	Actionner dans le cadre d'une utilisation sûre ou pour préparer un état normal
rouge		Urgence	Actionner en cas de situation dangereuse ou d'urgence
bleu		Obligatoire	Actionner dans une situation nécessitant une action immédiate
jaune		Anormal	Actionner en cas de situation anormale

Signification générale des couleurs pour les témoins lumineux

Couleur		Signification	Explication
blanc		Neutre	À utiliser en cas de doute sur l'application de la couleur verte, rouge, bleue ou jaune
vert		État normal	
rouge		Urgence	Situation dangereuse, agir immédiatement
bleu		Obligatoire	Indique une situation nécessitant obligatoirement une action de l'opérateur
jaune		Anormal	Situation anormale, situation critique imminente

Équipement électrique

Des mesures sont nécessaires pour éviter les dangers électriques sur les machines. On distingue à ce sujet deux types de dangers :

- dangers résultant du courant électrique, c'est-à-dire dangers provoqués par un contact direct ou indirect ;
- dangers résultant de situations causées indirectement par des défauts dans le système de commande.

→ Vous trouverez ci-après des éléments importants pour la conception de l'équipement électrique.
→ Équipement électrique des machines : EN 60204-1
→ Directive Basse tension 2006/95 CE

2

Raccordement au secteur

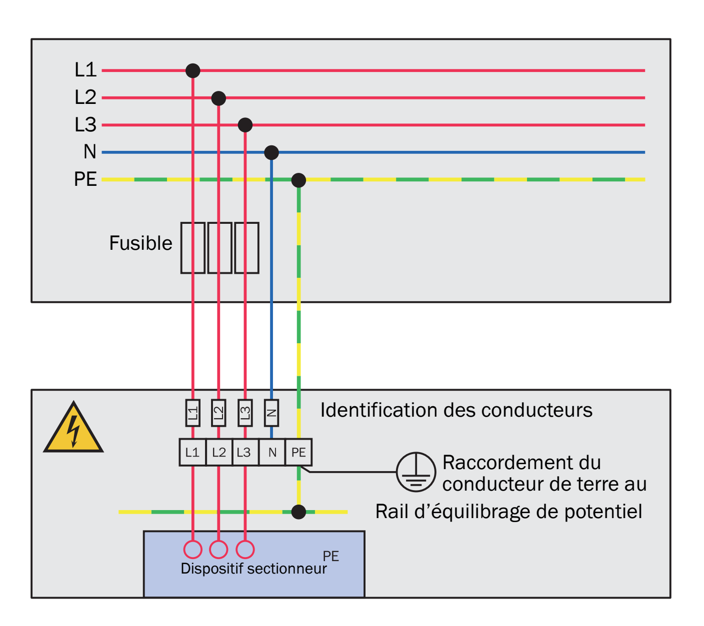
Le raccordement au secteur est l'interface entre l'équipement électrique de la machine et le secteur. Le raccordement doit respecter les dispositions de l'exploitant du réseau.
Pour les applications de sécurité en particulier, une alimentation stable et nécessaire. Les dispositifs d'alimentation doivent donc pouvoir supporter des microcoupures secteur.

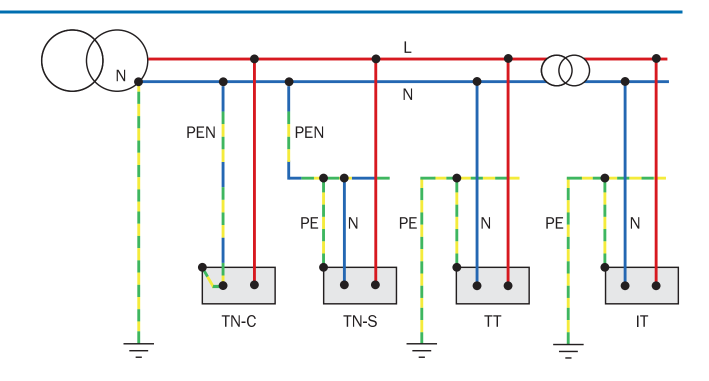
Mise à la terre

Le système de mise à la terre caractérise d'une part le type de liaison avec la terre du circuit secondaire du transformateur d'alimentation et d'autre part le type de mise à la terre des éléments de l'équipement électrique. Il existe trois systèmes de mise à la terre standardisés au niveau international :

- système TN
- système TT
- système IT

La mise à la terre est une liaison conductrice avec le sol. On distingue la terre de protection, utilisée pour la sécurité électrique, et la terre fonctionnelle FE, utilisée à d'autres fins. Le système de conducteur de terre comprend la terre, les conducteurs de liaison et les bornes correspondantes. Tous les éléments de l'équipement électrique de l'alimentation doivent être connectés au système de conducteurs de terre pour assurer l'équilibrage de potentiel. L'équilibrage de potentiel est une précaution élémentaire pour la protection en cas de défaillance.





système TN

Le système TN représente la forme d'alimentation secteur la plus fréquente dans les installations à basse tension. Dans le système TN, le point neutre du transformateur est directement relié à la terre (terre fonctionnelle) ; les éléments des produits raccordés sont reliés au point neutre du transformateur via le conducteur de terre (PE).
Selon la section des conducteurs, les conducteurs PE et N sont posés sous forme de câble combiné (système TN-C) ou de deux câbles indépendants (système TN-S).

système TT

Dans un système TT, le point neutre du transformateur d'alimentation est mis à la terre comme dans un système TN-S. Les conducteurs de terre raccordés au boîtier conducteur de l'appareil ne sont pas reliés à ce point neutre, mais mis à la terre séparément. Les éléments de l'appareil peuvent également être mis à la terre par un connecteur de terre commun.
Les systèmes TT ne sont généralement utilisés qu'avec des disjoncteurs FI.
L'avantage du système TT réside dans sa plus grande fiabilité sur les longues lignes transfrontalières.

système IT

Dans un système IT, les boîtiers conducteurs des appareils sont mis à la terre comme dans un système TT, mais le point neutre du transformateur d'alimentation ne l'est pas. Les installations dont la coupure représente un certain risque et qui ne doivent pas être déconnectées en cas de court-circuit d'un seul élément ou d'un seul contact à la terre sont réalisées sous forme de système IT. Dans le domaine de la basse tension, les systèmes IT sont par exemple prescrits pour alimenter les blocs opératoires et les soins intensifs dans les hôpitaux.

→ Mesures de protection : HD 60364-4-41 (CEI 60364-4-41, avec adaptations nationales variables)

Dispositifs sectionneurs

Pour chaque raccordement au secteur d'une ou plusieurs machines, un dispositif sectionneur doit être prévu. Il doit permettre de séparer l'équipement électrique de l'alimentation :

- sectionneur à coupure en charge pour catégorie d'emploi AC-23B ou DC-23B ;
- sectionneur à contact auxiliaire pour une précoupure de la charge
- disjoncteur
- connecteur/combinaison de connecteurs jusqu'à 16 A/3 kW

Certains circuits électriques, tels que les circuits de commandes de verrouillage, ne doivent pas être coupés par le dispositif sectionneur. Dans ce cas, des précautions spécifiques doivent être prises pour garantir la sécurité des opérateurs.

Dispositif de coupure pour la prévention des démarrages intempestifs

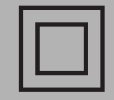
Pendant les travaux de maintenance, les intervenants ne doivent pas être mis en danger par un démarrage de la machine ou une remise sous tension. Pour cela, il faut prévoir des moyens permettant d'empêcher la fermeture involontaire et/ou erronée du dispositif sectionneur. Par exemple, on peut cadenasser la poignée d'un interrupteur général en position **Arrêt**.

Ce dispositif de coupure n'est pas adapté comme mesure de protection en cas d'intervention brève, nécessitée par le fonctionnement, dans la zone dangereuse.

Protection contre les chocs électriques

Classes de protection

La division en classes de protection indique par quels moyens on peut assurer la sécurité face à une défaillance unique. Par contre, cette répartition ne donne pas d'indications sur la hauteur de la protection.

	**Classe de protection I** Entrent dans cette catégorie tous les appareils à isolation simple (isolation de base) avec un conducteur de terre. Le fils de terre doit être connecté sur la borne portant le symbole ci-contre ou l'indication PE et doit être de couleur vert-jaune.
	**Classe de protection II** Les appareils de classe II possèdent une isolation renforcée ou doublée et non pas de connexion à la terre. Cette mesure de protection est également appelée double isolation. Aucun conducteur de terre ne doit être branché.
	**Classe de protection III** Les appareils de classe III utilisent la basse tension de protection et ne nécessitent donc aucune protection explicite.

Basse tension de protection TBTS/TBTP

La basse tension de protection, ou basse tension de sécurité, va jusqu'à 50 volts efficaces (V_{rms}) en courant alternatif et jusqu'à 120 volts en courant continu. En outre, au-dessus du seuil de 75 volts en courant continu, les exigences de la Directive Basse tension s'appliquent.

En cas d'utilisation dans des locaux habituellement secs, il est possible de se passer de protection contre un contact direct (protection de base) lorsque la tension ne dépasse pas 25 volts en courant alternatif (tension efficace) ou 60 volts en courant continu (tension sans harmoniques). L'absence d'harmoniques est constatée par la superposition de la tension continue sur une portion sinusoïdale de tension alternative d'au maximum 10 % efficaces.

Le circuit basse tension de protection doive être correctement séparé des autres circuits électriques (lignes de fuite et entrefers suffisants, isolation, raccordement des circuits électriques au connecteur de terre, etc.).

On distingue deux types de basse tension :

- TBTS (très basse tension de sécurité)
- TBTP (très basse tension de protection)

La basse tension de protection ne doit pas être générée à partir du secteur par des autotransformateurs, des diviseurs de tension ou des résistances additionnelles.

2

		ELV (CA < 50 V_{rms}, CC < 120 V)	
		TBTS	TBTP
Type de séparation	Sources d'alimentation	Source de courant à séparation sûre, par ex. un transformateur de sécurité ou des sources d'alimentation équivalente	
	Circuits électriques	■ Circuits électriques à séparation sûre par rapport à d'autres circuits non-TBTS ou non-TBTP ■ Circuits électriques avec isolation de base entre les circuits TBTS et TBTP	
Connexion à la terre ou à un connecteur de terre	Circuits électriques	Circuits électriques non mis à la terre	Circuits mis à la terre ou non
	Boîtiers	Les boîtiers ne doivent pas être mis à la terre intentionnellement ni raccordés à un conducteur de terre.	Les boîtiers peuvent être mis à la terre ou connectés à un conducteur de terre
Mesures supplémentaires	Tension nominale : ■ CA > 25 V ou ■ CC > 60 V ou ■ appareils dans l'eau	Protection de base par une isolation ou des enveloppes conformes aux normes	
	Tension nominale en milieu sec normal : ■ CA ≤ 25 V ou ■ CC ≤ 60 V	Aucune mesure supplémentaire exigée	Protection de base par : ■ isolation ou enveloppes conformes aux normes ou ■ corps et parties actives reliées par rail de terre principal

→ Classes de protection : EN 50178
→ Sécurité des transformateurs : série EN 61588

Mesures / indices de protection

Les indices de protection décrivent la protection d'un appareil contre la pénétration d'eau (pas de vapeur) et de particules étrangères (poussières). En outre, ils décrivent la protection contre le contact direct avec des éléments sous tension. Cette protection est en principe toujours obligatoire, même à basse tension. Tous les éléments accessibles restant sous tension après la coupure doivent posséder au minimum l'indice de protection IP 2x et les armoires électriques au minimum l'indice IP 54.

1er chiffre : protection contre la pénétration d'éléments solides	**2e chiffre :** protection contre la pénétration d'eau (pas de vapeur d'eau, pas d'autres liquides !)									
	IP ...0	**IP ...1**	**IP ...2**	**IP ...3**	**IP ...4**	**IP ...5**	**IP ...6**	**IP ...7**	**IP ...8**	**IP ...9K**
	Aucune protection	Gouttes d'eau verticales	en biais	Gouttes en pluie	Projec-tions d'eau	Jets d'eau	Paquets de mer	Immersion tempo-raire	prolongée	100 bars, 16 l/min, 80 °C
IP 0... Aucune protection	IP 00									
IP 1... Taille du corps étranger ≥ 50 mm ∅	IP 10	IP 11	IP 12							
IP 2... Taille du corps étranger ≥ 12 mm ∅	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23						
IP 3... Taille du corps étranger ≥ 2,5 mm ∅	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34					
IP 4... Taille du corps étranger ≥ 1 mm ∅	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44					
IP 5... Protégé contre la poussière	IP 50			IP 53	IP 54	IP 55	IP 56			
IP 6... Étanche à la poussière	IP 60					IP 65	IP 66	IP 67		IP 69K

→ Degrés de protection des boîtiers : EN 60529

2

Arrêt

Outre l'arrêt du fonctionnement normal, une machine doit pouvoir être arrêtée en cas d'urgence pour des raisons de sécurité.

Exigences

- Chaque machine doit être équipée d'un dispositif de commande permettant l'arrêt normal de la machine entière.
- Il faut au moins une fonction d'arrêt de catégorie 0. Des fonctions d'arrêt de catégorie 1 et/ou 2 peuvent être nécessaires du fait des exigences de sécurité de fonctionnement de la machine.
- Une commande d'arrêt de la machine doit être prioritaire sur les systèmes de commande de mise en marche. Lorsque la machine ou ses pièces dangereuses ont été arrêtées, l'alimentation de l'entraînement doit être interrompue.

Catégories d'arrêt

Les exigences de sécurité de fonctionnement de la machine nécessitent des fonctions d'arrêt réparties dans différentes catégories. Ne pas confondre les catégories d'arrêt avec les catégories selon la norme EN 954-1 ou EN ISO 13849-1.

Catégorie d'arrêt 0	Coupure de l'alimentation des éléments d'entraînement (arrêt non commandé)
Catégorie d'arrêt 1	La machine passe à un état sûr, puis l'alimentation des éléments d'entraînement est coupée
Catégorie d'arrêt 2	La machine passe à un état sûr, mais l'alimentation des éléments d'entraînement n'est pas coupée

→ Équipement électrique des machines : EN 60204-1

Interventions en cas d'urgence

Arrêt d'urgence

En cas d'urgence, non seulement tout mouvement dangereux doit être stoppé, mais toutes les sources d'alimentation générant un danger, par ex. les énergies emmagasinées, doivent être dérivées de manière sûre. Ces actions sont qualifiées d'arrêt d'urgence. Chaque machine, sauf exception décrite dans la Directive Machines, doit être équipée d'au moins un dispositif d'arrêt d'urgence.

- Les dispositifs d'arrêt d'urgence doivent être facilement accessibles.
- L'arrêt d'urgence doit mettre fin le plus rapidement possible à la situation dangereuse sans provoquer de risque supplémentaire.
- La commande d'arrêt d'urgence doit être prioritaire sur toutes les autres fonctions et commandes, quel que soit le mode de fonctionnement.
- Le réarmement du dispositif d'arrêt d'urgence ne doit pas entraîner le redémarrage de la machine.
- Le principe de l'actionnement direct avec fonction d'enclenchement mécanique doit être utilisé.
- L'arrêt d'urgence doit être conforme à la catégorie d'arrêt 0 ou 1.

Coupure d'urgence (déclenchement en cas d'urgence)

Lorsqu'il existe une possibilité de risque ou de dommages causés par l'énergie électrique, il faut prévoir un dispositif de coupures d'urgence. Celui-ci coupe l'alimentation électrique au moyen d'interrupteurs électromécaniques.

- L'alimentation ne doit être réenclenchée qu'après acquittement de toutes les systèmes de commande de coupures d'urgence.
- La coupure d'urgence entraîne la catégorie d'arrêt 0.

Réarmement

Lorsqu'un appareil d'intervention en cas d'urgence est actionné, les dispositifs ainsi déclenchés doivent rester à l'état arrêté jusqu'à ce que cet appareil soit réinitialisé.
Le réarmement des dispositifs de commande doit s'effectuer manuellement sur place. Il doit seulement préparer la remise en marche de la machine.

L'arrêt et la coupure d'urgence sont des mesures de protection complémentaires qui ne représentent pas un moyen de réduire les risques sur les machines.

Exigences et variantes

Les dispositifs de commande utilisés doivent avoir des contacts NF guidés. Les organes de commande doivent être rouges, le cas échéant sur fond jaune. On peut utiliser :

- des interrupteurs à bouton-poussoir ;
- des interrupteurs à fil, câble ou rail ;
- des interrupteurs à pédale sans capot (pour arrêt d'urgence) ;
- des dispositifs sectionneurs.

Lorsqu'on utilise des câbles et des fils comme éléments mobiles des dispositifs d'arrêt d'urgence, ils doivent être conçus et installés de manière à être faciles à actionner pour déclencher la fonction. Les dispositifs de réarmement doivent être disposés de telle manière que toute la longueur du fil ou du câble soit visible depuis leur emplacement.

→ Principes de conception des dispositifs d'arrêt d'urgence : EN ISO 13850
→ Arrêt en cas d'urgence : Directive Machines 2006/42/CE

Compatibilité électromagnétique (CEM)

La directive européenne CEM définit la compatibilité électromagnétique comme : « l'aptitude d'équipements à fonctionner dans leur environnement électromagnétique de façon satisfaisante sans produire eux-mêmes de perturbations électromagnétiques intolérables pour d'autres équipements dans cet environnement ».

Les machines et composants utilisés doivent être choisis et vérifiés pour s'assurer qu'ils résistent aux perturbations prévisibles. Des exigences particulières s'appliquent aux composants de sécurité.

Les perturbations électromagnétiques peuvent être provoquées par :

- des perturbations électriques rapides, transitoires (burst) ;
- des tensions de choc (surge), par ex. si la foudre tombe sur le réseau ;
- des champs électromagnétiques ;
- des perturbations à haute fréquence (câbles voisins)
- des décharges électrostatiques (ESD).

Il existe des limites de perturbation pour le secteur industriel et le secteur résidentiel. Dans le secteur industriel, les exigences de sensibilité aux perturbations sont plus élevées, mais les limites d'émission sont également plus hautes. Ainsi, des composants qui respectent les dispositions de protection pour le secteur industriel peuvent provoquer des perturbations dans le domaine résidentiel. Le tableau ci-après donne des exemples d'intensité minimale des champs d'interférence dans différents domaines d'application.

Intensité minimale typique des champs d'interférence dans la plage de fréquence de 900 à 2000 MHz

Domaine d'application	Intensité minimale de champ d'interférence tolérée
Électronique grand public	3 V/m
Électroménager	3 V/m
Appareils informatiques	3 V/m
Appareils médicaux	3 … 30 V/m
Électronique industrielle	10 V/m
Composants de sécurité	10 … 30 V/m
Électronique des véhicules	jusqu'à 100 V/m

Exemple : Distances typiques des installations de téléphonie mobile à différentes intensités de perturbation

Domaine d'application	3 V/m	10 V/m	100 V/m	Remarque
Poste DECT	env. 1,5 m	env. 0,4 m	≤ 1 cm	Base ou poste mobile
Mobile GSM	env. 3 m	env. 1 m	≤ 1 cm	Puissance d'émission maximale (900 MHz)
Base GSM	env. 1,5 m	env. 1,5 m	env. 1,5 m	Pour une puissance d'émission d'environ 10 watts

Quelques principes de conception pour éviter les problèmes de CEM :

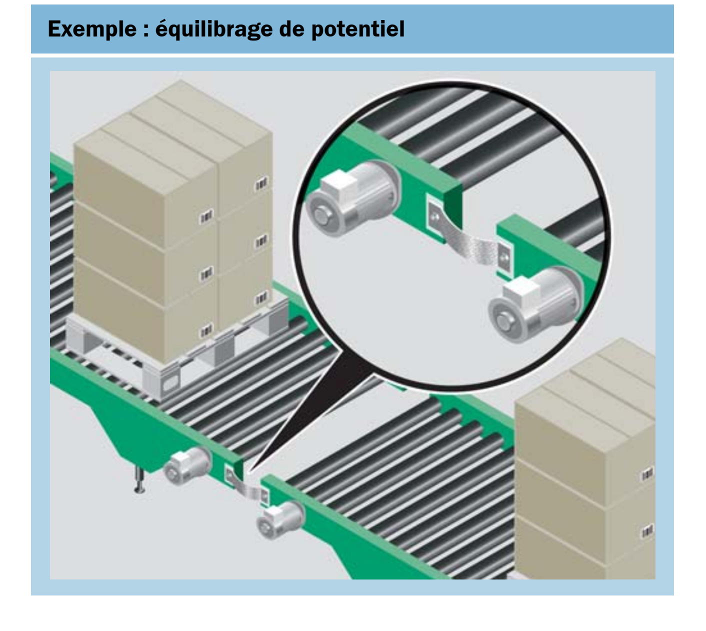
- assurer un équilibrage de potentiel continu par une liaison conductrice entre les éléments de la machine et de l'installation ;
- maintenir une séparation physique avec le bloc d'alimentation (secteur / actionneurs / convertisseurs) ;
- éviter les courants d'équilibrage de potentiel via le blindage du câble ;
- assurer le contact large et à plat des blindages ;
- raccorder la terre fonctionnelle (FE) existante ;
- terminer correctement les câbles de communication existants. Pour la transmission de données (bus de terrain), des câbles torsadés sont souvent nécessaires.

Exemple : connexion correcte du blindage

Correct : blindage court et à plat

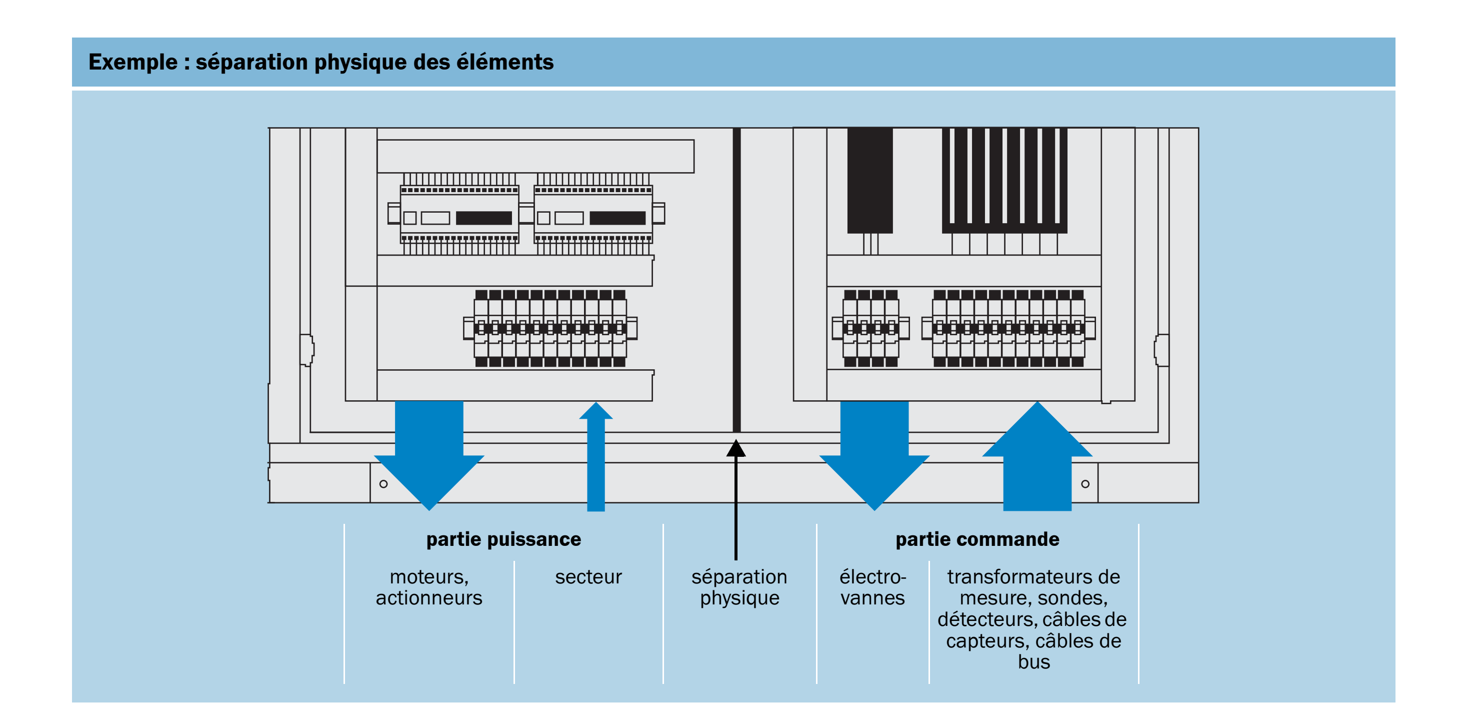
Incorrect : raccordement en « bout de ficelle »

Exemple : équilibrage de potentiel



2

Exemple : séparation physique des éléments



→ Normes CEM : EN 61000-1 à -4
→ Exigences CEM relatives aux composants de sécurité : EN 61496-1, EN 62061

Technologie des fluides

La technologie des fluides est un terme général recouvrant tous les processus dans lesquels de l'énergie est transportée par des gaz ou des liquides. On utilise ce terme global parce que les liquides et les gaz ont un comportement similaire. La technologie des fluides décrit les procédés et installations de transmission de force au moyen de fluides dans des systèmes fermés.

Modules

Chaque installation fluidique se compose des modules suivants :

- Compression : compresseur / pompe
- Conditionnement : filtres
- Transmission : tuyauterie / flexibles
- Commande : vanne
- Action : vérin

La pression s'établit dans chaque système fluidique par le transport du fluide en fonction de la charge. Lorsque la charge augmente, la pression augmente aussi.

Techniquement, la technologie des fluides est appliquée en hydraulique (transmission d'énergie par huile hydraulique) et en pneumatique (transmission par air comprimé). L'huile hydraulique nécessite un circuit de fluides (aller et retour), tandis qu'en pneumatique l'air résiduaire est évacué dans l'atmosphère via des silencieux.

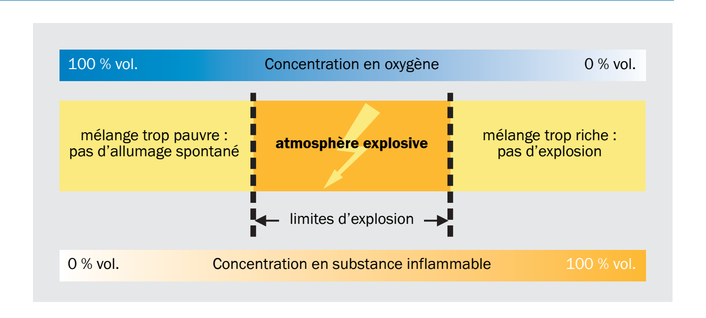
Principes de conception

Tous les éléments d'un système fluidique doivent être protégés contre les pressions dépassant la pression maximale de fonctionnement d'un module ou la pression nominale d'un composant. Une fuite au sein d'un composant ou dans les tuyauteries / flexibles ne doit pas causer de danger. Il faut utiliser des silencieux pour réduire le niveau sonore causé par l'échappement de l'air. L'utilisation de silencieux ne doit pas générer de dangers supplémentaires, les silencieux ne doivent pas causer de contre-pression nocive.

Utilisation en atmosphère explosive

La protection contre les explosions est un aspect particulièrement important de la sécurité. En cas d'explosion, les personnes sont menacées entre autres par la chaleur incontrôlée, les flammes, les ondes de choc et les projections de débris, par les produits de réaction nocifs ou encore par la consommation de l'oxygène nécessaire à la respiration. Les explosions et les incendies ne sont pas les causes les plus fréquentes d'accidents du travail. Cependant, leurs conséquences sont spectaculaires et souvent associées à de lourdes pertes humaines et de coûteux dommages économiques.

Partout où l'on fabrique, transporte, transforme ou stocke des poussières, des gaz ou des liquides inflammables, il peut se former une explosive, c'est-à-dire un mélange de combustible et d'oxygène situé dans les limites d'explosion. Lorsqu'une source d'inflammation est présente, l'explosion se produit.



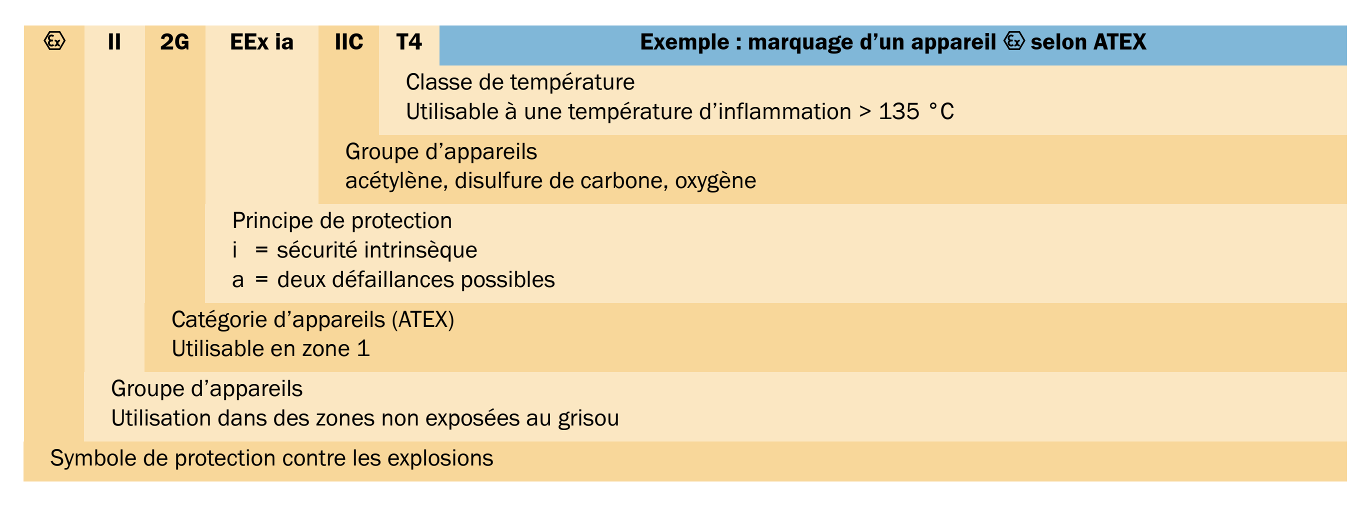
Évaluation des mesures de protection nécessaires

Pour évaluer les mesures de protection nécessaires, les sites explosibles sont divisés en **zones** en fonction de la probabilité d'occurrence d'une atmosphère explosive dangereuse. Les données du tableau ci-dessous ne s'appliquent pas au secteur minier (surface / fond).

Définition des zones				
Pour les gaz	**G**	Zone 2	Zone 1	Zone 0
Pour les poussières	**D**	Zone 22	Zone 21	Zone 20
atmosphère explosive		rare, courte durée	occasionnelle	permanente, fréquente, longue durée
Mesure de sécurité		normale	haute	très haute
Catégorie d'appareils utilisable (ATEX)				
1		II 1G/II 1D	II 1G/II 1D	II 1G/II 1D
2		II 2G/II 2D	II 2G/II 2D	
3		II 3G/II 3D		

Identification

Les appareils doivent être conçus, testés et revêtus du marquage adéquat pour l'utilisation dans ces zones.



→ Directive 1994/9/CE (ATEX 95 – Fabricant)
→ Normes ATEX : EN 50021 (gaz) et EN 50281 (poussières)

Résumé : conception sûre

Mécanique, électricité, utilisation

- Par principe, le meilleur moyen d'éviter les risques est d'empêcher leur apparition.
- Concevoir la machine pour que les opérateurs soient le moins possible exposés à la zone dangereuse.
- Éviter les risques résultant directement du courant électrique (contact direct ou indirect) ou causés indirectement par des défaillances dans le système de commande.

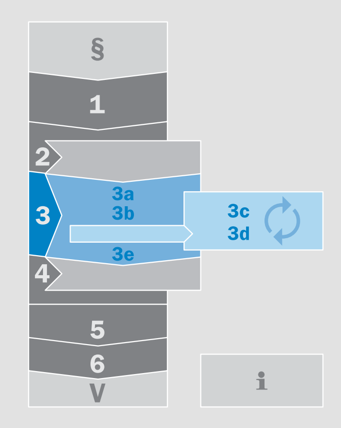
Interventions en cas d'urgence, arrêt

- Prévoir un dispositif de commande pour l'arrêt normal de l'installation complète.
- Utiliser l'arrêt d'urgence pour stopper un processus ou un mouvement dangereux.
- Utiliser la coupure d'urgence lorsqu'il faut déconnecter en toute sécurité les sources d'énergie causes de danger.

CEM

- Concevoir des machines respectant la directive CEM. Les composants utilisés doivent être choisis et vérifiés de telle sorte …
  - qu'ils ne causent aucune perturbation électromagnétique à d'autres appareils/installations ;
  - qu'ils résistent aux perturbations qu'ils sont susceptibles de subir.

Étape 3 : Mesures techniques de protection



Les mesures techniques de protection sont mises en œuvre par des équipements de protection (capots, portes, barrages immatériels, commandes bimanuelles) ou des dispositifs de surveillance (de position, vitesse, etc.) assurant une fonction de sécurité.

Tous les équipements de protection ne sont pas intégrés dans le système de commande de la machine. Par exemple, on peut avoir un dispositif protecteur fixe (barrière, capot). L'essentiel est accompli lorsque ces équipements sont correctement conçus.

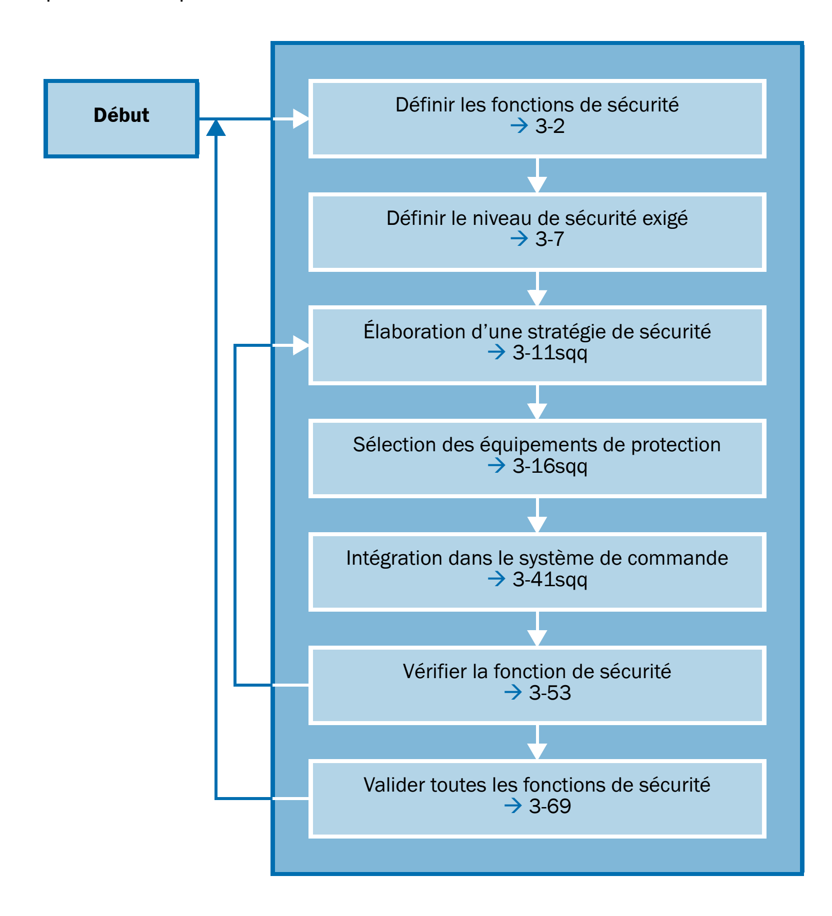
Sécurité fonctionnelle

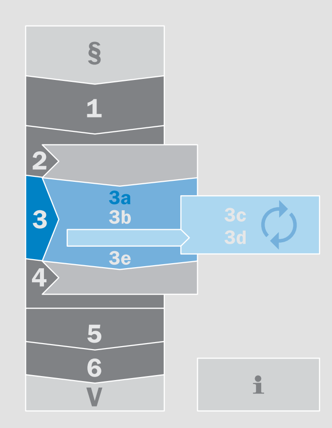
Lorsque l'efficacité d'une mesure de protection dépend du bon fonctionnement du système de commande, on parle de sécurité fonctionnelle. Pour sa réalisation, il faut définir les fonctions de sécurité qui définissent le niveau de sécurité requis puis les mettre en œuvre avec les composants adéquats et les vérifier.

Validation

La validation de toutes les mesures techniques de protection garantit que les fonctions de sécurité adéquates sont fiables.

La conception des fonctions de sécurité et la méthodologie de mise en œuvre du système de commande sont décrites au chapitre suivant (étapes 3a à 3e).





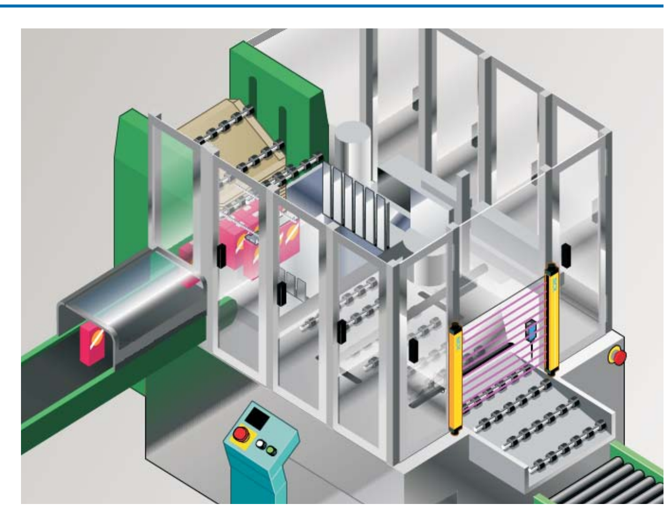
Étape 3a : Définir les fonctions de sécurité

La fonction de sécurité indique comment le risque doit être réduit par des mesures techniques de sécurité. Chaque danger qui n'a pas été exclu à la conception doit faire l'objet d'une fonction de sécurité. Il est nécessaire de définir précisément la fonction de sécurité pour atteindre la sécurité visée à un coût raisonnable. La définition de la fonction de sécurité permet de déduire le type et le nombre de composants nécessaires pour exécuter cette fonction.

→ Exemples de définitions des fonctions de sécurité : Rapport BGIA 2/2008 « Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen » (Sécurité fonctionnelle des commandes de machines)

Empêcher l'accès en permanence

On empêche l'accès à un point dangereux au moyen de capots mécaniques, de barrières ou d'obstacles appelés protecteurs fixes.

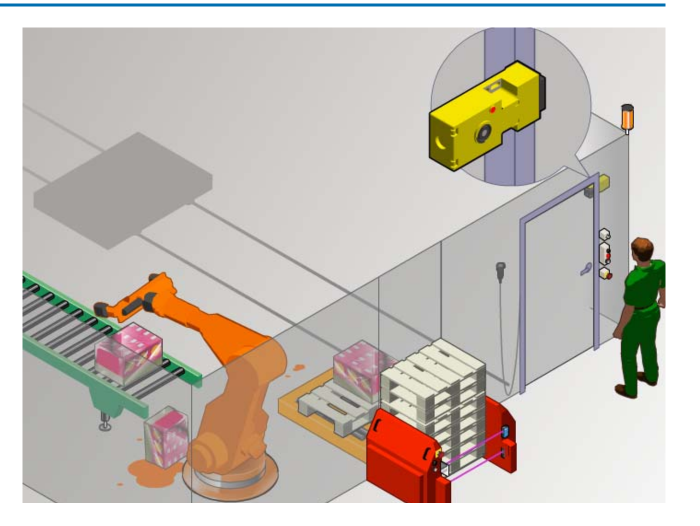


Exemples :

- Capots empêchant l'accès direct aux points dangereux (cf. illustration)
- Dispositifs en tunnel empêchant l'accès aux points dangereux et permettant le passage des matériaux ou des marchandises (cf. illustration)
- Accès des personnes à la zone dangereuse interdit par un protecteur

Empêcher temporairement l'accès

L'accès à une zone dangereuse est impossible tant que la machine est dans un état dangereux. Après une demande d'arrêt normal, le blocage de l'accès est levé dès que la machine a atteint l'état sûr.

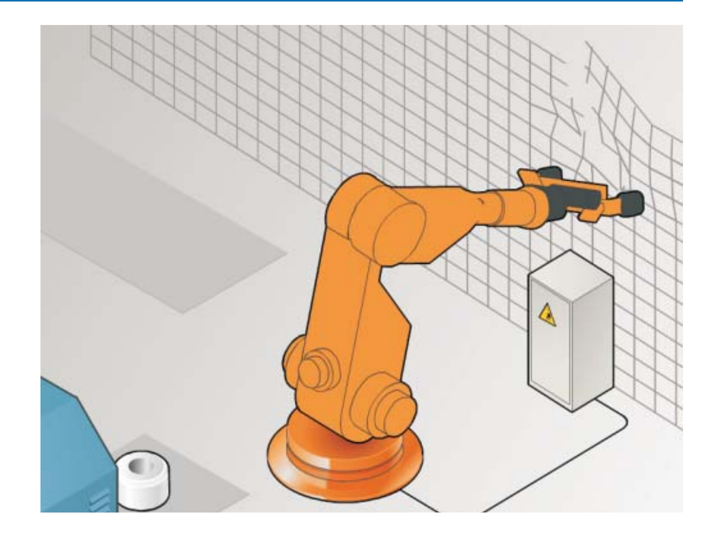


Retenir des pièces / matériaux / rayonnements

Lorsqu'une machine peut éjecter des matériaux ou produire des rayonnements, il faut employer des dispositifs mécaniques de protection (protecteurs) pour éviter les risques associés.

Exemples :

- Capot de protection avec fenêtre spéciale sur un tour pour éviter les projections de copeaux et d'éléments d'outils
- Clôture capable de retenir un bras robotisé (cf. illustration)

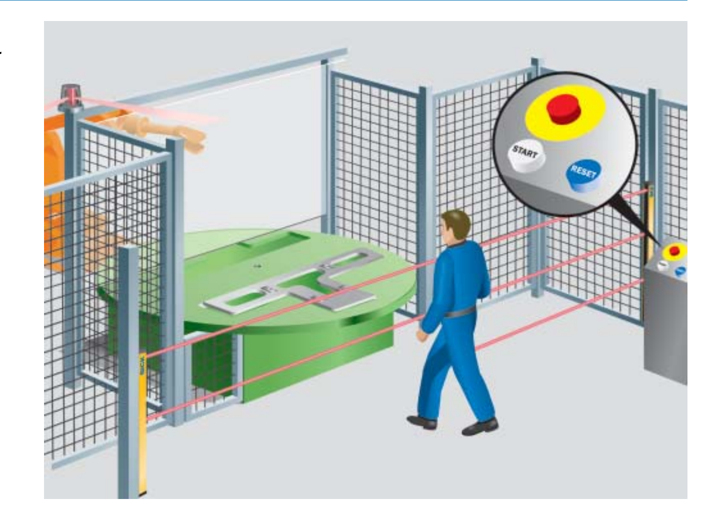


Déclencher l'arrêt

Une fonction d'arrêt de sécurité met la machine dans un état sûr suite à une requête (par ex. approche d'une personne). Pour éviter des problèmes au redémarrage, il peut être utile de déclencher un arrêt normal avant l'arrêt de sécurité (catégorie d'arrêt 1). Le cas échéant, des fonctions de sécurité supplémentaires sont nécessaires pour empêcher un redémarrage intempestif.

Exemples :

- Ouverture d'une porte de protection avec dispositif sans interverrouillage
- Coupure des faisceaux d'une barrière optoélectronique de sécurité protégeant l'accès à la machine (cf. illustration)



Empêcher un démarrage intempestif

Après la fonction « Déclencher l'arrêt » ou la mise sous tension de la machine, des actions conscientes sont nécessaires pour mettre la machine en mouvement. Pour cela, le réarmement manuel d'un dispositif de protection permet de préparer le redémarrage de la machine.

Exemples :

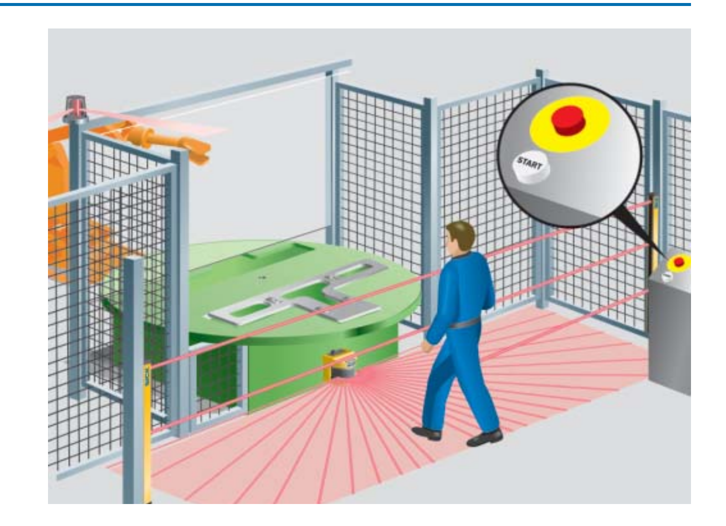
- Réarmement d'une barrière optoélectronique (cf. figure « Déclencher l'arrêt » : bouton bleu RESET)
- Réarmement du dispositif d'arrêt d'urgence
- Redémarrage de la machine lorsque tous les dispositifs de sécurité nécessaires sont actifs

Empêcher le démarrage

Après le déclenchement d'une fonction de sécurité « Déclencher l'arrêt », des mesures techniques empêchent le démarrage ou la reprise du mouvement tant qu'une personne se trouve dans la zone dangereuse.

Exemples :

- Systèmes de transfert de clé
- Détection dans le champ de protection actif d'un scrutateur laser de sécurité (cf. illustration). La fonction « Déclencher l'arrêt » est réalisée par le champ de protection vertical de la barrière optoélectronique de sécurité.

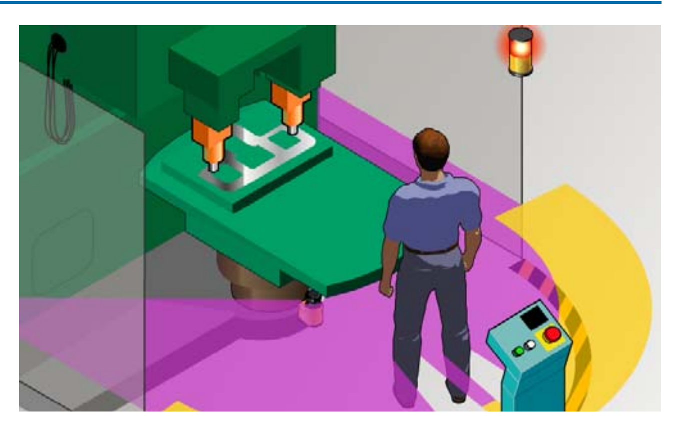


Combinaison : Déclencher l'arrêt et Empêcher le démarrage

Le même dispositif de protection qui déclenche l'arrêt empêche le redémarrage tant que des personnes ou des parties du corps se trouvent dans la zone dangereuse.

Exemples :

- Une commande bimanuelle pour un poste de travail mono-opérateur
- Utilisation d'un barrage immatériel pour empêcher le contournement par l'arrière ou par les côtés (protection des points dangereux)
- Utilisation d'un scrutateur laser de sécurité pour la protection de zone (cf. illustration)

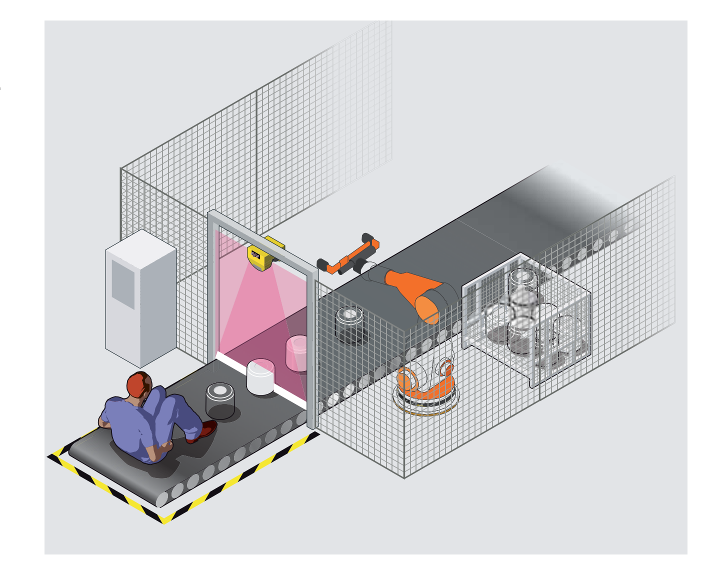


Distinguer les personnes/matériaux

Pour convoyer des matériaux à l'intérieur ou hors d'une zone dangereuse, on utilise les caractéristiques spécifiques des matériaux pour les distinguer automatiquement des personnes. Ainsi, l'équipement de protection ne réagit pas au passage de matériaux mais détecte les personnes.

Exemples :

- Inhibition d'un équipement de protection électrosensible (ESPE)
- Barrages immatériels horizontaux avec algorithme intégré de distinction des personnes et des matériaux
- Commutation du champ de protection d'un scrutateur laser de sécurité (cf. illustration)

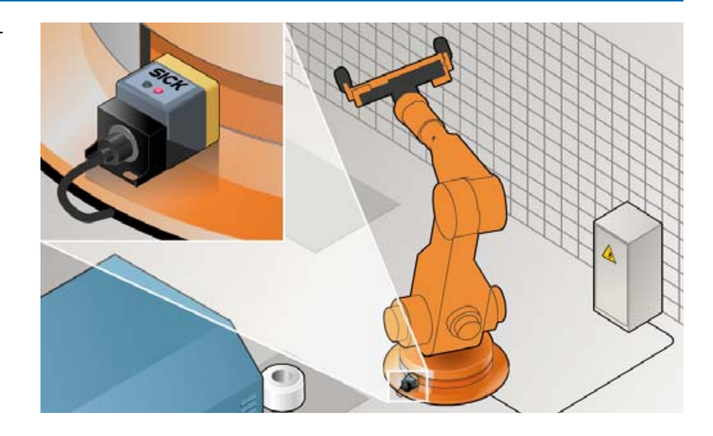


Surveiller les paramètres de la machine

Dans certaines applications, il est nécessaire de surveiller différents paramètres de la machine pour vérifier qu'ils respectent les limites de sécurité. En cas de dépassement d'un seuil, des mesures adaptées sont prises (par ex. arrêt, signal d'alarme).

Exemples :

- Surveillance de vitesse, de température ou de pression
- Surveillance de position (cf. illustration)



Neutraliser les fonctions de sécurité manuellement et temporairement

Si des opérations de réglage ou de surveillance du processus nécessitent la neutralisation temporaire des fonctions de sécurité, il faut prévoir des mesures supplémentaires pour réduire les risques. La neutralisation doit être manuelle.

Exemples :

- Limitation de la vitesse ou de la force de déplacement
- Limitation de la durée de déplacement (mode coup par coup)
- Poignée manuelle avec bouton de validation et touches +/– (cf. illustration)



Combiner ou alterner des fonctions de sécurité

Une machine peut prendre différents états ou utiliser différents modes de fonctionnement. Différentes mesures et fonctions de sécurité peuvent alors s'appliquer ou être couplées. Des fonctions de commande permettent de s'assurer que le niveau de sécurité requis est atteint. La commutation des modes de fonctionnement ou le choix et l'adaptation de différentes mesures de sécurité ne doivent pas entraîner une situation dangereuse.

Exemples :

- Après le passage du mode de réglage au mode de fonctionnement normal, la machine s'arrête. Une commande manuelle de démarrage est nécessaire.
- Suppression de la commande d'arrêt d'un barrage immatériel de sécurité lors de la course ascendante sans danger d'une presse
- Adaptation de la zone de surveillance d'un scrutateur laser en fonction de la vitesse du véhicule

Arrêt en cas d'urgence

L'arrêt d'urgence est une mesure de protection complémentaire et en aucun cas un moyen primaire de réduction des risques. Cette fonction n'est donc pas considérée comme une véritable fonction de sécurité.

En fonction de l'appréciation des risques de la machine, il est cependant conseillé d'exécuter cette fonction en appliquant le même niveau de sécurité qu'aux mesures de protection principales.

→ Cf. EN 60204-1 et EN ISO 13850

Témoins de sécurité et alarmes

Les indicateurs d'état de sécurité sont des mesures complémentaires aux fonctions de sécurité classiques.

Exemples :

- Témoins de verrouillage
- Avertisseurs de démarrage
- Lampes d'inhibition

Autres fonctions

D'autres fonctions peuvent être réalisées par des équipements de sécurité même s'ils ne servent pas à la protection des personnes. Cela n'entrave pas les fonctions de sécurité en tant que telles.

Exemples :

- Protection des outils/machines
- Mode PSDI (déclenchement de cycle par l'équipement de protection)
- Utilisation de l'équipement de protection pour l'automatisation (par ex. navigation)
- Transmission de l'état des mesures de sécurité à un poste de contrôle via un système de bus

Résumé : définir les fonctions de sécurité

Vous devez définir quelles fonctions de sécurité sont nécessaires pour réduire les risques :

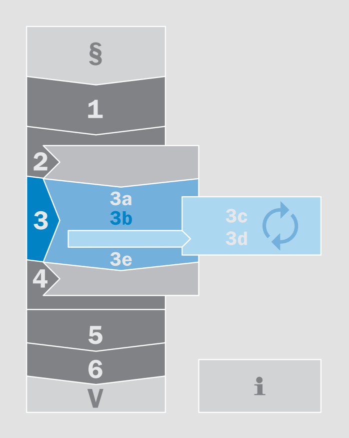
- Empêcher durablement l'accès
- Empêcher temporairement l'accès
- Retenir des pièces / matériaux / rayonnements
- Déclencher l'arrêt
- Empêcher le démarrage
- Empêcher un démarrage intempestif
- Combinaison : Déclencher l'arrêt et Empêcher le démarrage
- Distinguer les personnes/matériaux
- Surveiller les paramètres de la machine
- Neutraliser les fonctions de sécurité manuellement et temporairement
- Combiner ou alterner des fonctions de sécurité

Étape 3b : Définir le niveau de sécurité exigé

En règle générale, le niveau de sécurité requis est défini dans les normes C (normes spécifiques des machines).
Le niveau de sécurité requis doit être défini individuellement pour chaque fonction de sécurité et s'applique ensuite à tous les appareils impliqués, par ex. aux ...

- capteurs / équipements de protection
- unités logiques
- actionneurs

S'il n'existe aucune norme C pour la machine en question ou si la norme C existante ne contient aucune information à ce sujet, le niveau de sécurité requis peut être défini selon l'une des normes suivantes :



→ EN ISO 13849-1
→ EN 62061
→ EN 954-1 (applicable jusqu'au 31.12.2011)

L'application des normes garantit que les dépenses engagées pour la réalisation sont raisonnables par rapport au risque constaté.
La protection d'un opérateur qui dépose ou prélève des pièces à la main dans une presse à métaux ne nécessite pas les mêmes considérations que la protection d'un opérateur qui travaille sur une machine où il risque au maximum de se pincer un doigt.
En outre, une seule et même machine peut présenter au cours de ses phases d'existence différents points de danger avec des risques variables. Dans ce cas, les fonctions de sécurité doivent être définies pour chaque phase de vie et pour chaque danger.

Toutes les normes reposent sur les éléments d'appréciation des risques ci-après :

- la sévérité des blessures/dommages pour la santé possibles
- la fréquence et/ou la durée de l'exposition au danger
- la possibilité d'éviter le danger

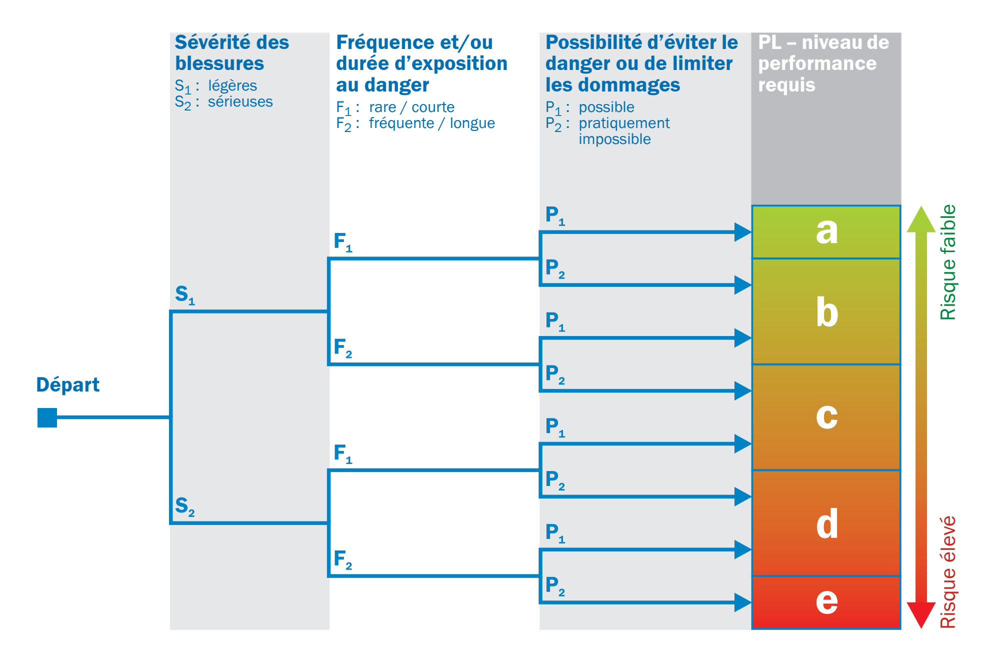
La combinaison des paramètres détermine le niveau de sécurité requis.

L'application des procédures décrites dans ces normes pour déterminer le niveau de sécurité concerne la machine sans équipements de protection.

3
b

Niveau de performance (Performance Level) selon EN ISO 13849-1

Cette norme utilise également un graphe pour déterminer le niveau de sécurité requis. Elle applique les mêmes paramètres **S**, **F** et **P** pour déterminer l'ampleur du risque que la norme EN 954-1. Par contre, le résultat du processus est un « niveau de performance requis » (PLr = required Performance Level).



Le niveau de performance PL est divisé en cinq graduations. Il dépend de la structure du système de commande, de la fiabilité des composants utilisés, de la capacité à détecter les défauts ainsi que de la capacité à résister aux défaillances de cause commune dans les systèmes de commande à canaux multiples. Par ailleurs, des mesures supplémentaires sont exigées pour éviter les erreurs de conception.

Niveau d’intégrité SIL selon EN 62061

La procédure utilisée ici est numérique. On évalue l’ampleur des dommages, la fréquence / durée de séjour dans la zone dangereuse et la possibilité d’éviter le danger. En outre, la probabilité d’apparition d’un événement dangereux est prise en compte. Le résultat du calcul est le niveau d’intégrité de sécurité (SIL = Safety Integrity Level).

Conséquences	Sévérité des dommages S	Classe K = F+ W+ P				
		4	5–7	8–10	11–13	14–15
Mort, perte d’un œil ou d’un bras	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Lésions permanentes, perte de doigts	3			SIL1	SIL2	SIL3
Lésions réversibles, traitement médical	2				SIL1	SIL2
Lésions réversibles, premiers secours	1					SIL1

Fréquence[1)] de l’événement dangereux F	
F ≥ 1× par heure	5
1× par heure > F ≥ 1× par jour	5
1× par jour > F ≥ 1× toutes les 2 semaines	4
1× toutes les 2 semaines > F ≥ 1× par an	3
1× par an > F	2

Probabilité d’apparition de l’événement dangereux W	
Fréquente	5
Probable	4
Possible	3
Rare	2
Négligeable	1

Possibilité d’éviter l’événement dangereux P	
Impossible	5
Possible	3
Probable	1

1) pour des séjours > 10 min

Le niveau SIL est calculé comme suit :

1. Définir la sévérité des dommages S.
2. Compter les points de fréquence F, de probabilité W et de possibilité d’éviter P.
3. Calculer la classe K en additionnant F, W et P.
4. Le niveau SIL est le point d’intersection entre la ligne « Sévérité des dommages S » et la colonne « Classe K ».

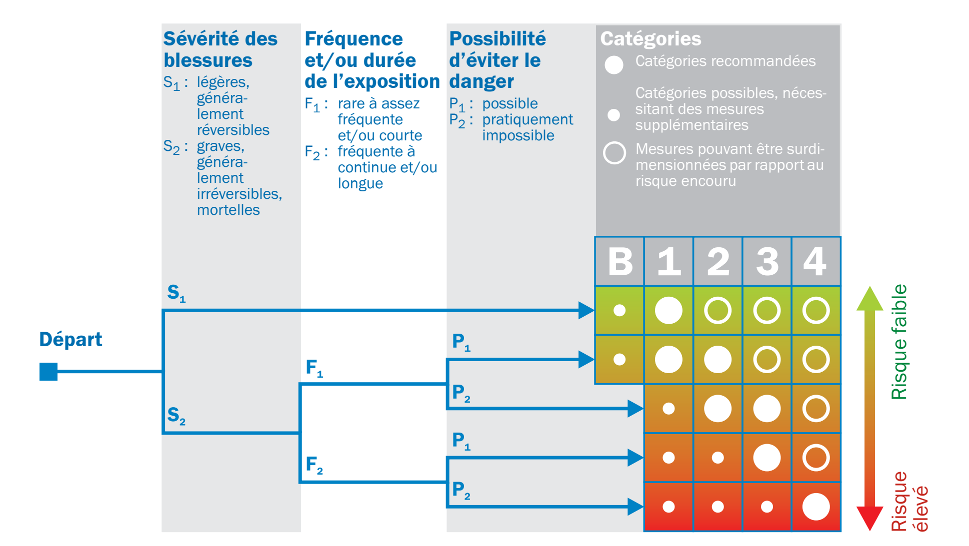
Le niveau SIL est divisé en trois graduations. Il dépend de la structure du système de commande, de la fiabilité des composants utilisés, de la capacité à détecter les défauts ainsi que de la capacité à résister aux défaillances de cause commune dans les systèmes de commande à canaux multiples. Par ailleurs, des mesures supplémentaires sont exigées pour éviter les erreurs de conception.

3 b

Catégorie selon EN 954-1 (1996)

La procédure de détermination du niveau de sécurité nécessaire en fonction de la norme EN 954-1 (1996) appliquée jusqu'à présent est représentée par un graphe qui définit les catégories en fonction du niveau de sécurité requis.

La norme EN 954-1 peut encore être appliquée jusqu'au 31.12.2011, après quoi elle est remplacée par la norme EN ISO 13849-1.



Les normes EN ISO 13849-1 comme EN 62061 définissent les exigences relatives à la conception et à la réalisation des parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. L'utilisateur peut sélectionner la norme applicable en fonction de la technologie utilisée d'après les indications du tableau ci-contre :

Technologie	EN ISO 13849-1	EN 62061
Hydraulique	Applicable	Non applicable
Pneumatique	Applicable	Non applicable
Mécanique	Applicable	Non applicable
Électricité	Applicable	Applicable
Électronique	Applicable	Applicable
Électronique programmable	Applicable	Applicable

Résumé : définir le niveau de sécurité exigé

Généralités

- Il faut définir le niveau de sécurité requis pour chaque fonction de sécurité.
- Les paramètres « sévérité des blessures possibles », « fréquence et durée de l'exposition au danger » et « possibilité d'éviter le danger » déterminent le niveau de sécurité nécessaire.

Normes applicables

- La norme EN ISO 13849-1 utilise un graphe pour déterminer le niveau de sécurité requis, tout comme la norme précédente EN 954-1. Le résultat du processus est un « niveau de performance requis » (PLr = required Performance Level).
- La norme EN ISO 13849-1 s'applique également aux domaines hydraulique, pneumatique et mécanique.
- La norme EN 62061 applique une procédure numérique. Le résultat du calcul est le niveau d'intégrité de sécurité (SIL = Safety Integrity Level).

Étape 3c : Concevoir la fonction de sécurité

Les étapes 3c et 3d décrivent l'élaboration et la vérification des fonctions de sécurité par le choix de la technologie adaptée, des équipements de protection et des composants adéquats. Dans certaines circonstances, ces étapes sont à répéter plusieurs fois.

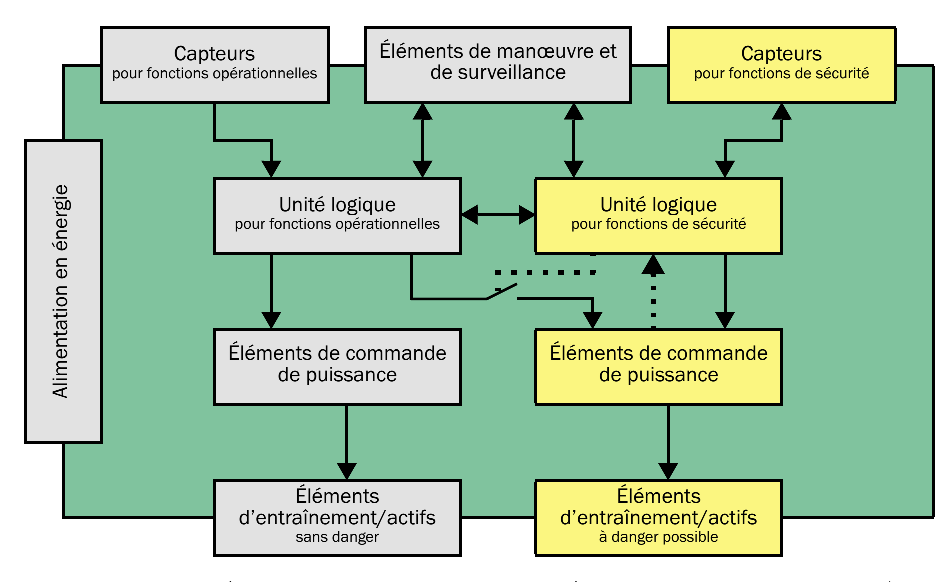
Pour cela, vous devez toujours vérifier si la technologie choisie assure une sécurité suffisante et est réalisable techniquement, ou si l'utilisation d'une technologie donnée génère des risques différents ou supplémentaires.

Élaboration d'une stratégie de sécurité

Une machine ou installation se compose de divers éléments qui interagissent et assurent son fonctionnement. Les composants purement opérationnels sont à distinguer de ceux qui endossent des fonctions de sécurité.

→ Détails sur la stratégie de sécurité : Rapport BGIA 2/2008 « Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen » (Sécurité fonctionnelle des commandes de machines)

Structure fonctionnelle d'une commande de machine

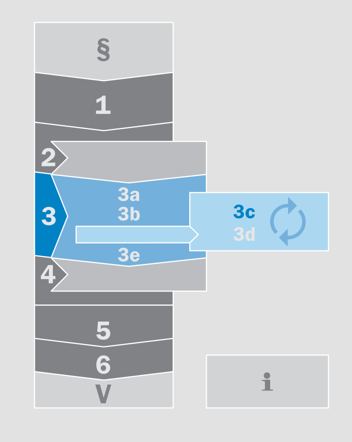


Les parties des systèmes de commande relatives à la sécurité sont à choisir selon les fonctions de sécurité et le niveau de sécurité requis : capteurs, unités logiques, éléments de puissance ainsi qu'éléments d'entraînement/actifs. Ce choix s'effectue en général à partir d'une stratégie de sécurité.

Une fonction de sécurité peut être réalisée avec un ou plusieurs composants de sécurité. À l'inverse, plusieurs fonctions de sécurité peuvent se partager un ou plusieurs composants.

Les sysètmes de commandes doivent être conçus de manière à éviter les situations dangereuses. La mise en marche d'une machine ne doit être possible que par une action volontaire sur un dispositif de commande prévu à cet effet.

Lorsque le redémarrage d'une machine entraîne un danger, ce redémarrage doit être techniquement impossible à la remise sous tension. Lorsque le redémarrage n'entraîne aucun danger, il peut être effectué sans intervention de l'opérateur (automatiquement).



3
c

Caractéristiques décisives

Les caractéristiques suivantes sont à prendre en compte lors de l'élaboration de la stratégie de sécurité :

- Caractéristiques de la machine
- Caractéristiques ambiantes
- Caractéristiques humaines
- Caractéristiques de conception
- Caractéristiques des équipements de protection (→ 3-15)

C'est en fonction de ces caractéristiques qu'il faut décider quels équipements de protection intégrer.

Caractéristiques de la machine

Caractéristiques de la machine à prendre en compte :

- capacité à stopper le déplacement dangereux à tout moment (si c'est impossible, utiliser des protecteurs ;
- capacité à stopper le déplacement dangereux sans risque supplémentaire (si c'est impossible, choisir une autre conception / un autre équipement de protection) ;
- possibilité de danger causé par des pièces éjectées (si oui, utiliser des protecteurs) ;
- temps d'arrêt (la connaissance des temps d'arrêt est obligatoire pour assurer l'efficacité des dispositifs de protection) ;
- possibilité de surveillance de temps / course d'arrêt (obligatoire lorsque l'âge/l'usure peuvent entraîner des modifications).

Caractéristiques ambiantes

Caractéristiques ambiantes à prendre en compte :

- perturbations / rayonnements électromagnétiques
- vibrations / chocs
- lumière parasite provenant de capteurs / postes de soudure / surfaces réfléchissantes
- encrassement (brouillard, copeaux)
- plage de température
- humidité / intempéries

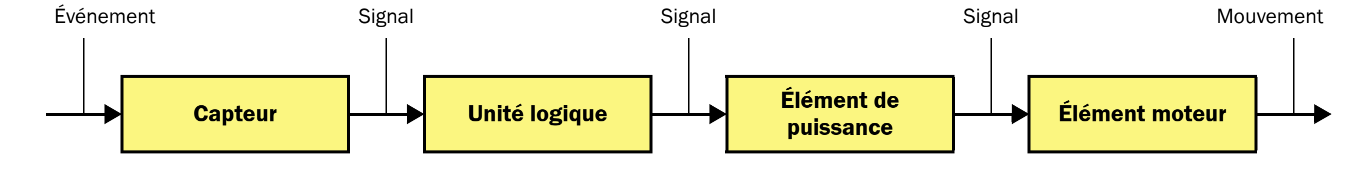
Caractéristiques humaines

Caractéristiques humaines à prendre en compte :

- qualification prévue de l'opérateur de la machine
- trafic prévisible de personnes
- vitesse d'approche (K)
- possibilités de contourner les équipements de protection
- mauvaise utilisation prévisible

Caractéristiques de conception

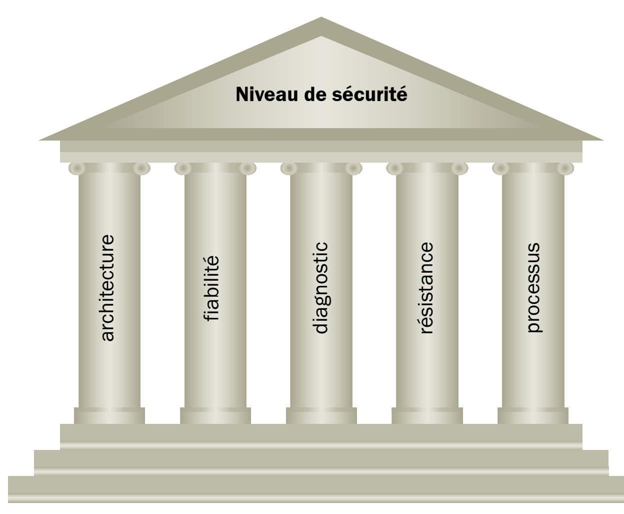
En principe, il est conseillé de réaliser les fonctions de sécurité avec des composants de sécurité certifiés. Cela simplifie le processus de conception et la vérification ultérieure. Une fonction de sécurité est réalisée par plusieurs sous-systèmes. Souvent, il n'est pas possible de réaliser un sous-système uniquement à l'aide de composants de sécurité certifiés qui assurent d'ores et déjà le niveau de sécurité (PL/SIL). Il faut alors plutôt le composer à partir de plusieurs éléments. Dans ce cas, le niveau de sécurité dépend de plusieurs valeurs de référence.



Caractéristiques de sécurité des sous-systèmes

Le niveau de sécurité d'un sous-système dépend de plusieurs caractéristiques techniques, par exemple :

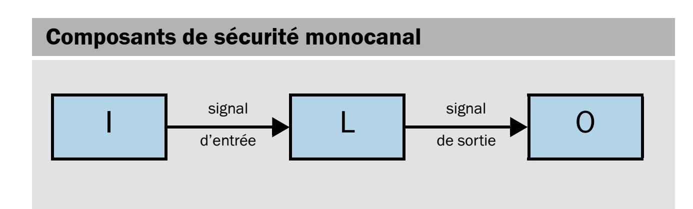
- Architecture
- Fiabilité des composants/appareils
- Diagnostic de détection des défauts
- Résistance aux défaillances de cause commune
- Processus



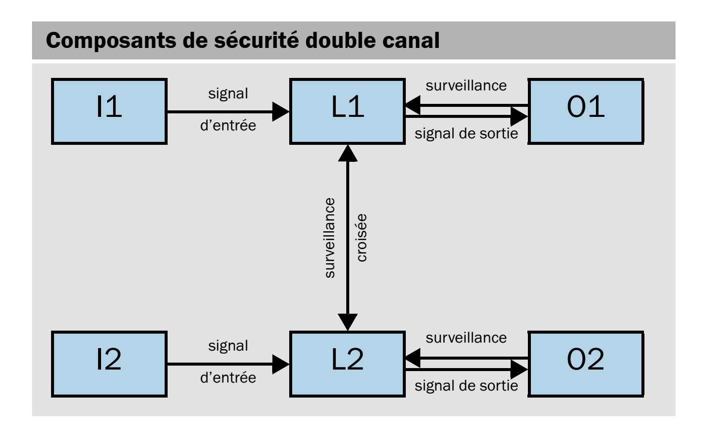
Architecture

Pour réduire la probabilité de défaillance d'un composant de sécurité par une meilleure structure, les fonctions de sécurité peuvent être réalisées en parallèle par plusieurs canaux. Dans le domaine de la sécurité des machines, les composants de sécurité double canal sont fréquents (cf. fig suivante). Chaque canal peut stopper l'état dangereux. Les deux canaux peuvent également être conçus de manière différenciée (un canal est constitué de composants électromécaniques, l'autre est purement électronique). À la place d'un second canal identique, on peut également avoir un système assurant simplement des fonctions de surveillance.

Composants de sécurité monocanal



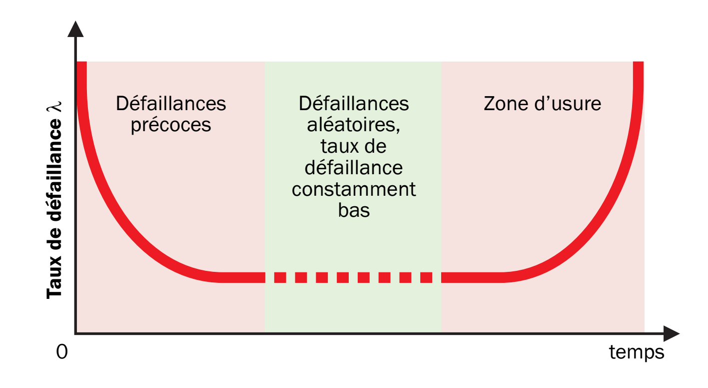
Composants de sécurité double canal



Fiabilité des composants/appareils

Toute panne des composants de sécurité entraîne une défaillance du processus de production. C'est pourquoi il est important d'utiliser des composants fiables. Plus la fiabilité est élevée, plus la probabilité d'un accident est faible. Les données de fiabilité sont un indicateur d'éventuelles défaillances aléatoires et sont généralement exprimées comme suit :

- Pour les composants électromécaniques ou pneumatiques : **valeurs B_{10}**. La durée de vie dépend ici de la fréquence de commutation. La valeur B_{10} indique le nombre de cycles de commutation au bout duquel 10 % des composants auront subi une défaillance.
- Pour les composants électroniques : **taux de défaillance** λ (lambda). Le taux de défaillance est fréquemment exprimé en FIT (Failures in Time), où un FIT représente une défaillance toutes les 10^9 heures.

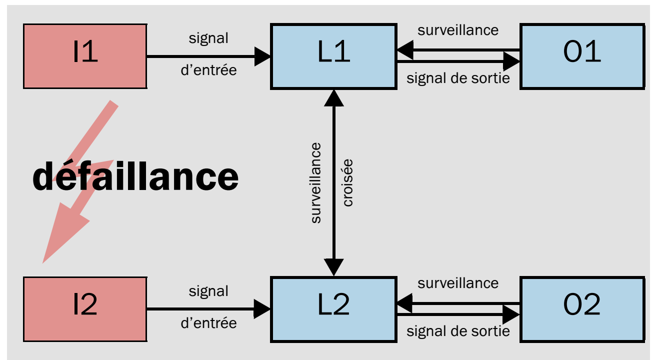


Diagnostic de détection des défauts

Certains défauts peuvent être détectés par des mesures de diagnostic. En font partie la surveillance mutuelle, la surveillance de tension et d'intensité, les fonctionnalités « watchdog », les tests rapides de fonctionnement, etc.
Tous les défauts ne sont pas détectables, c'est pourquoi il faut déterminer la portée de la détection des défauts. Pour cela, il est possible de réaliser une analyse des défauts (AMDE = Analyse des modes de défaillance et de leurs effets). Pour les conceptions complexes, les mesures et valeurs empiriques tirées des normes peuvent être utiles.

Résistance aux défaillances de cause commune

On parle de défaillance de cause commune par exemple lorsqu'une perturbation cause un dysfonctionnement simultané des deux canaux.
Des mesures adéquates doivent être prises pour éviter ces défaillances, par ex. des passages de câbles séparés, des câblages de protection, des composants diversifiés, etc.

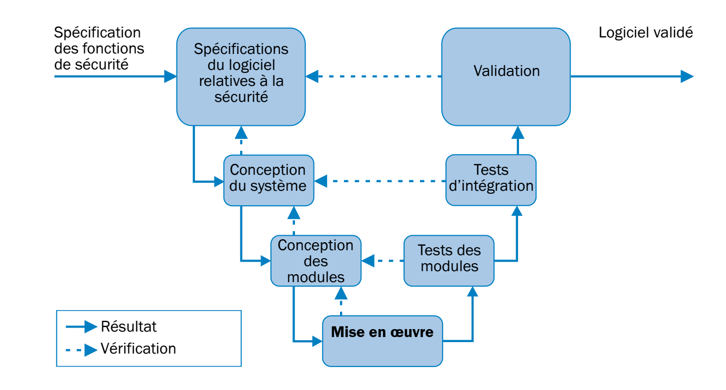


Processus

La notion de processus englobe différents éléments significatifs :

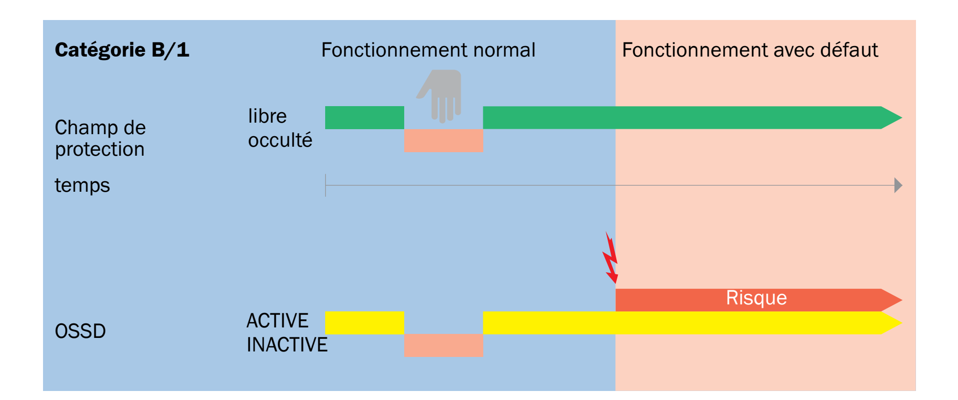
- organisation et compétence ;
- règles de conception (par ex. conditions de spécification, directives de codage) ;
- principe et critères de contrôle ;
- documentation et gestion de la configuration.

Dans le domaine de la sécurité, le modèle en V a fait ses preuves, en particulier pour la conception logicielle (cf. illustration).



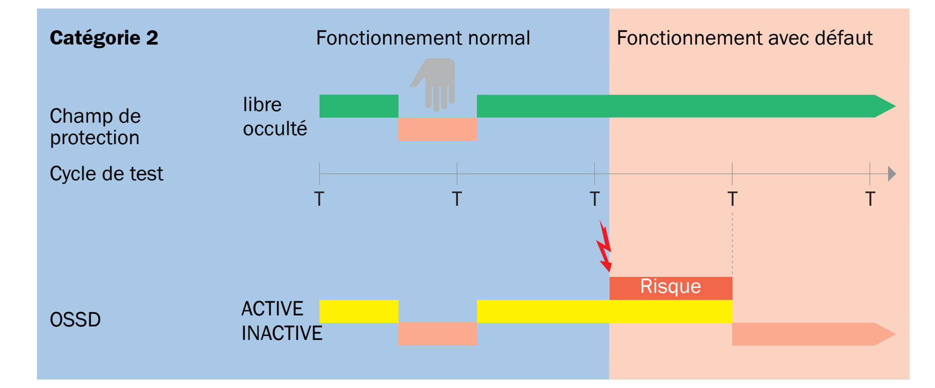
Catégories selon EN 954-1

Dans la norme EN 954-1, les caractéristiques de sécurité sont déterminées au moyen de catégories. Ce principe de base est conservé dans la norme EN ISO 13849-1 qui lui succède.



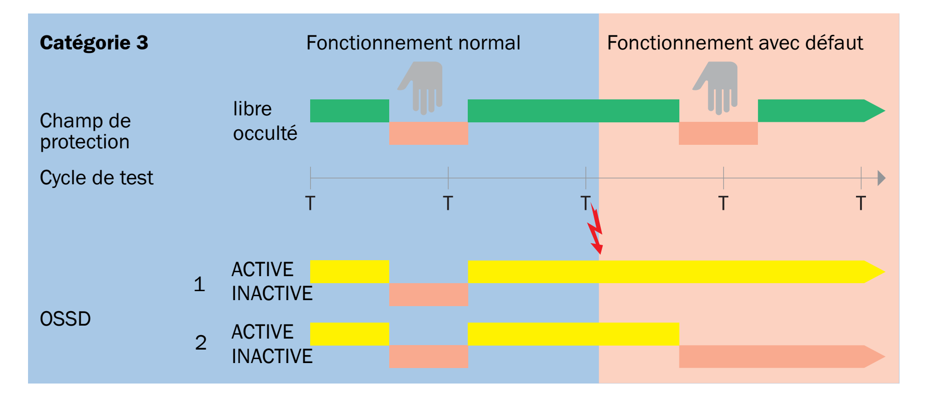
Catégorie B/ Catégorie 1

Pas de détection des défauts. Une défaillance entraîne un risque. Avec des composants fiables et éprouvés (catégorie 1), le risque peut être réduit.



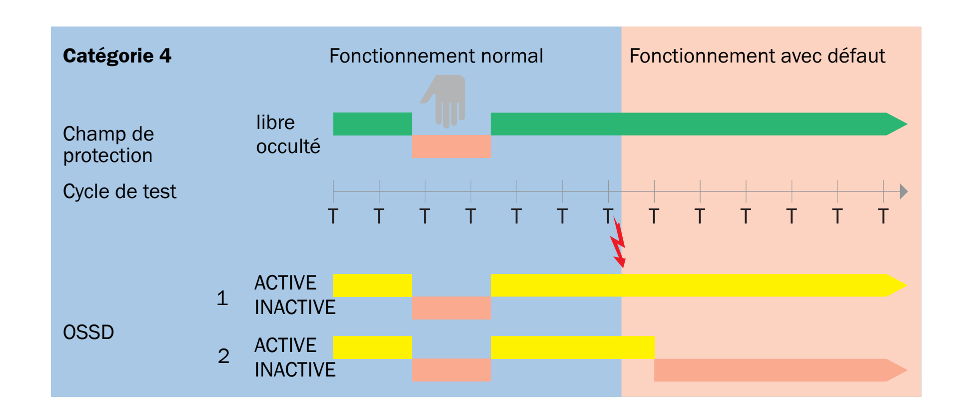
Catégorie 2

La détection des défauts s'effectue par un test. Entre la défaillance et le prochain test, il existe un risque.



Catégorie 3

En cas de défaillance, la fonction de sécurité est maintenue. Le défaut est détecté soit lorsque la fonction de sécurité est exécutée, soit au prochain test. Une accumulation de défauts entraîne un risque.



Catégorie 4
Malgré la défaillance, la fonction de sécurité est maintenue.
Contrairement à la catégorie 3, les défauts suivants survenant en cas de non-détection du défaut primaire ne doivent pas entraîner la perte de la fonction de sécurité.

Caractéristiques des équipements de protection

Caractéristiques des équipements de protection à prendre en compte :

- caractéristiques et applications des équipements de protection (sans contact, physiques, etc., → 3-16)
- position/dimensions des équipements de protection (→ 3-29) ;
- intégration dans le système de commande (→ 3-41).

Les § suivants décrivent ces éléments en détail.

Sélection des équipements de protection

Équipements de protection électro-sensibles (ESPE)



Les équipements de protection électro-sensibles les plus répandus sont les dispositifs optoélectroniques, par exemple :
- barrages immatériels et barrières optoélectroniques (aussi appelées AOPD = active opto-electronic protective device) ;
- scrutateurs laser (également appelés AOPDDR = active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection) ;
- caméras.

Pourquoi une protection immatérielle ?

Si un opérateur doit intervenir dans une machine et donc est exposé à un danger, il est conseillé d'utiliser plutôt une protection immatérielle qu'un équipement de protection mécanique (protecteurs fixes, commande bimanuelle, parois de protection, etc.). Cela réduit le temps d'accès (l'opérateur n'a pas besoin d'attendre l'ouverture du protecteur), augmente la productivité (gain de temps pour alimenter la machine) et améliore l'ergonomie du poste de travail. En outre, les tierces personnes sont protégées de la même manière que les opérateurs.

On peut utiliser un équipement de protection optoélectronique lorsque l'opérateur n'est exposé à aucun risque de blessures causées par des éléments éjectés (par ex. projections de matériau fondu).

Sélection d'un ESPE adapté

Critères possibles :
- indications des normes harmonisées, en particulier des normes C ;
- la place disponible devant la zone dangereuse ;
- critères ergonomiques, par exemple accès cyclique à la zone de travail ;
- résolution (capacité de détection sûre).

Quelle fonction de sécurité l'ESPE doit-il remplir ?
- Déclencher l'arrêt (→ 3-3)
- Empêcher un démarrage intempestif (→ 3-3)
- Empêcher le démarrage (→ 3-4)
- Combinaison : Déclencher l'arrêt et Empêcher le démarrage (→ 3-4)
- Distinguer les personnes/matériaux (→ 3-4)
- Surveiller les paramètres de la machine (→ 3-5)
- Témoins de sécurité et alarmes (→ 3-5)
- Autres fonctions, par ex. mode PSDI, désensibilisation, commutation des champs de protection, etc. (→ 3-6)

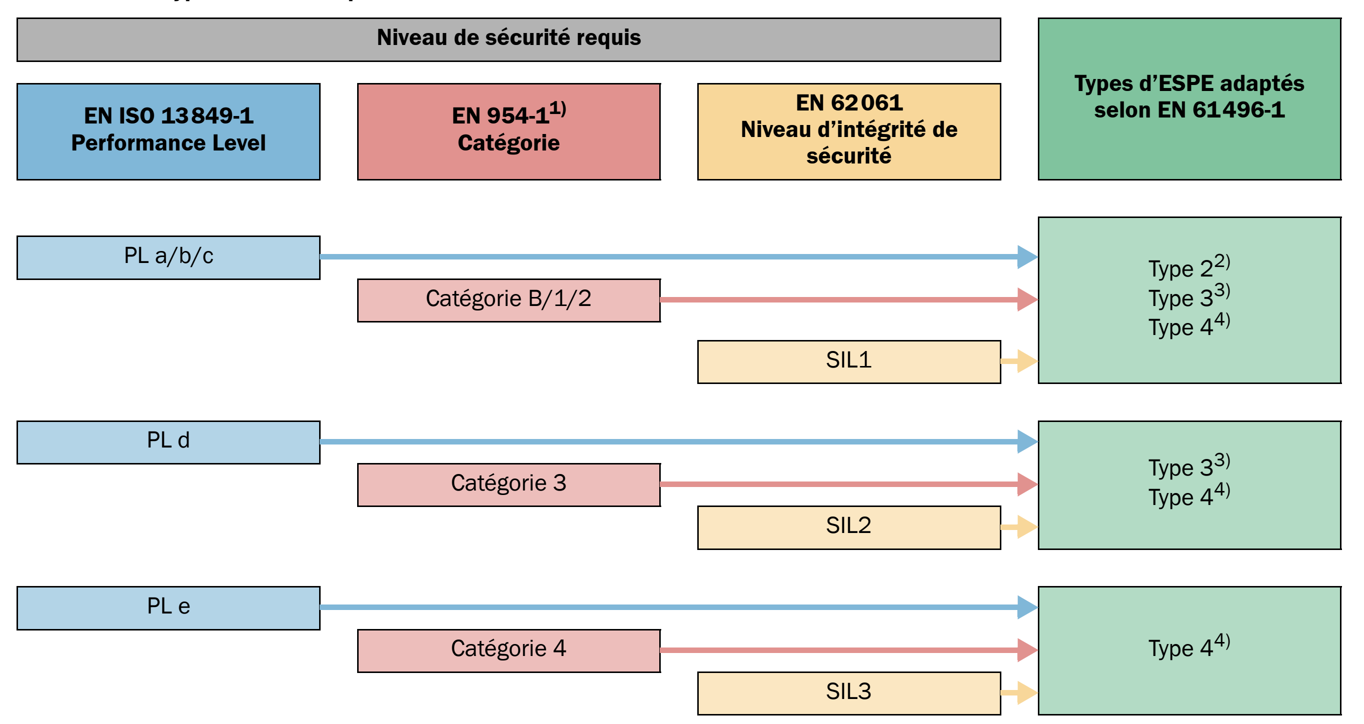
Niveau de sécurité

Pour les ESPE, les caractéristiques de sécurité sont mises en œuvre dans une classification par types (type 2, type 3, type 4).
Outre les aspects structurels, comme dans les catégories connues selon EN 954, la classification par types impose des exigences à respecter en matière de compatibilité électromagnétique (CEM), de conditions ambiantes et de système optique. En outre, le comportement vis-à-vis des sources de perturbations (soleil, lampes, appareils de même conception) est particulièrement important, de même que l'angle d'ouverture de l'optique des barrages immatériels et des barrières immatérielles de sécurité (les exigences envers un AOPD de type 4 sont supérieures à celles d'un AOPD de type 2).

L'angle d'ouverture est décisif pour déterminer la distance minimale par rapport aux surfaces réfléchissantes.

→ Exigences relatives aux ESPE : EN 61496-1, CLC/TS 61496-2, CLC/TS 61496-3

Sélection des types d'ESPE adaptés – recommandation



1) Ne convient pas pour les mesures de protection électroniques, programmables ou complexes. SICK recommande l'application de la norme EN ISO 13849-1.
2) Type 2 : par ex. barrières monofaisceau de sécurité et barrages immatériels de sécurité. Pour les tests externes et les taux de sollicitation, voir les caractéristiques techniques
3) Type 3 : par ex. scrutateurs laser, caméras de sécurité
4) Type 4 : par ex. barrières monofaisceau de sécurité et barrages immatériels de sécurité

Respectez toujours les conseils d'utilisation, informations et instructions inclus dans les notices d'utilisation des équipements de protection optoélectroniques !

3
c

Qu'est-ce que l'ESPE doit détecter ?

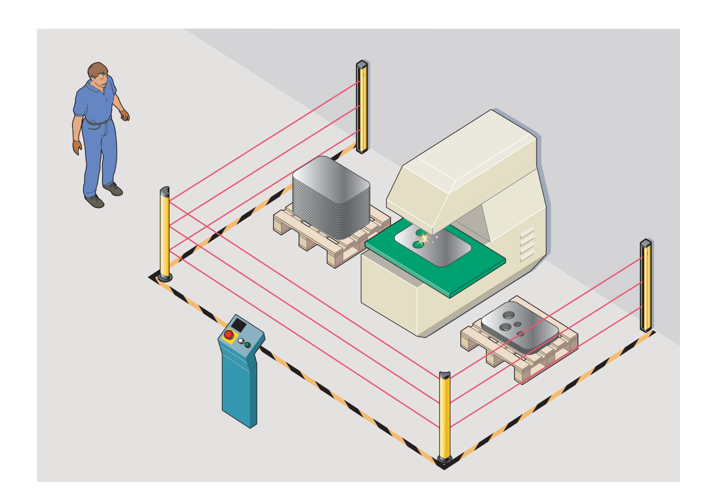
Protection des points dangereux : détection du doigt et de la main

Pour la protection des points dangereux, le système détecte une approche très près du point dangereux.
L'avantage de ce type d'équipement de protection est qu'il permet d'avoir une distance minimale très courte et l'opérateur peut travailler avec une meilleure ergonomie (par ex. pour les travaux d'insertion de pièces sur une presse).



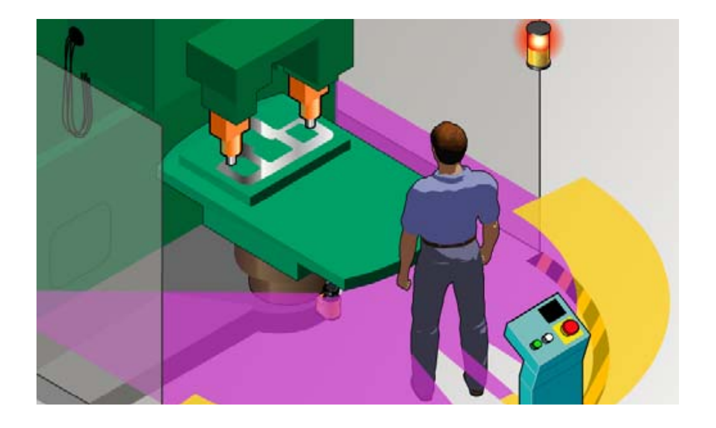
Contrôle d'accès : détection d'une personne accédant à la zone dangereuse

Lors du contrôle d'accès, le système identifie l'approche d'une personne en détectant son corps.
Ce type d'équipement de protection sert à protéger l'accès à une zone dangereuse. En cas d'intrusion dans la zone dangereuse, un signal d'arrêt est déclenché. Une personne qui passe derrière l'équipement de protection n'est pas détectée par l'ESPE !



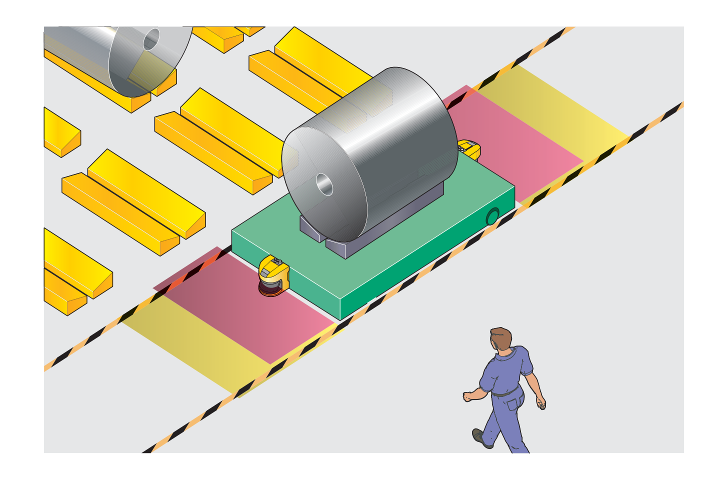
Protection de zone : détection de la présence d'une personne dans la zone dangereuse

En protection de zone, le système reconnaît qu'une personne s'approche en la détectant à l'intérieur d'une zone.
Ce type d'équipement de protection est par exemple adapté aux machines dont une zone dangereuse n'est pas totalement visible depuis l'emplacement du poussoir de réarmement. En cas d'intrusion dans la zone dangereuse, un signal d'arrêt est déclenché et le redémarrage est empêché.



Protection de zone mobile : détection de l'approche d'une personne dans la zone dangereuse

La protection de zone est adaptée aux systèmes de transport sans conducteur (AGV), grues et chariots, pour protéger l'opérateur et/ou les tiers pendant le déplacement des véhicules ou lors de la phase de stationnement à un poste fixe.

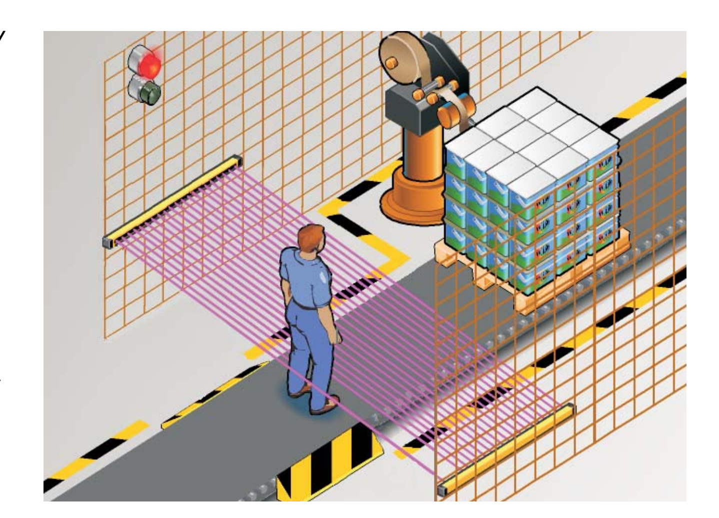


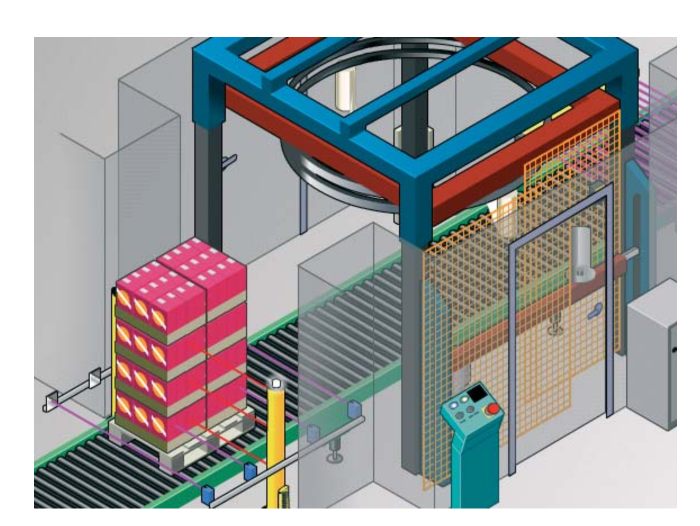
Fonction supplémentaire possible : distinguer les personnes/matériaux

Un cas particulier d'utilisation des ESPE est la fonction de distinction des personnes et des matériaux. Cette fonction de sécurité est utile pour les machines dans lesquelles tous les travaux de chargement et transport de palettes sont automatisés, c'est-à-dire exclusivement mécaniques (par ex. machines d'emballage, palettiseurs et dépalettiseurs).

Deux variantes sont possibles :

- **Avec algorithme de traitement intégré**
  Des algorithmes spécifiques permettent aux capteurs modernes de faire la différence entre les personnes et les matériaux. Aucun capteur supplémentaire n'est nécessaire et vous évitez des frais d'installation et de maintenance.
- **Par inhibition**
  Lors de l'inhibition, les équipements de protection sont temporairement neutralisés. Il est nécessaire de neutraliser l'ESPE pendant la durée de passage des palettes. Le système d'inhibition doit donc pouvoir faire la différence entre les personnes et les matériaux. Différentes normes relatives à cette fonction de sécurité prévoient en bref que…
  - pendant l'inhibition, il faut garantir un état sûr par d'autres moyens, c'est-à-dire que l'accès à la zone dangereuse ne doit pas être possible ;
  - l'inhibition doit être activée automatiquement ;
  - l'inhibition ne doit pas dépendre d'un seul signal électrique ;
  - l'inhibition ne doit pas dépendre uniquement de signaux logiciels ;
  - les signaux d'inhibition, lorsqu'ils interviennent au cours d'une combinaison non valide, ne peuvent déclencher l'inhibition, et la fonction de protection doit être maintenue ;
  - l'état d'inhibition doit cesser et donc l'équipement de protection doit être réactivé immédiatement après le passage ;
  - l'inhibition ne doit être activée que pendant la partie d'un cycle de travail où le matériau empêche l'accès à la zone dangereuse.

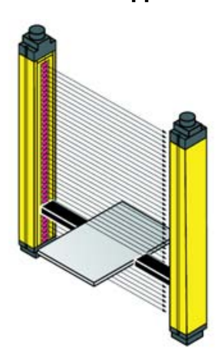




→ Exigences relatives aux machines d'emballage : EN 415-4
→ Application pratique des ESPE : CLC/TS 62046

3
c

Fonction supplémentaire possible : désensibilisation



Cette fonction permet d'ignorer des objets qui se trouvent obligatoirement dans le champ de protection des ESPE pour ne pas déclencher de coupure.

Dans le principe, une zone désensibilisée constitue un trou dans le champ de protection. Vous devez en tenir compte dans le calcul de la distance minimale.

Désensibilisation statique	Désensibilisation dynamique	
	avec objet	avec ou sans objet

Fonction supplémentaire possible : mode PSDI

Ce mode de fonctionnement est utile lorsque l'opérateur doit insérer ou prélever des pièces à la main de manière cyclique. Dans ce mode,
le cycle machine est automatiquement relancé à la libération du champ de protection après une ou deux intrusions
.

Le réarmement de l'ESPE est nécessaire dans les cas suivants :

- au démarrage de la machine
- au redémarrage, si l'ESPE a été occulté pendant un mouvement dangereux
- si aucun passage n'a été enclenché pendant la durée PSDI définie

Il faut vérifier que l'opérateur ne court aucun danger pendant le processus de travail. Cela limite l'utilisation de ce mode de fonctionnement aux petites machines dont le volume dangereux délimité par les protecteurs et l'ESPE est tel qu'il est strictement impossible qu'un opérateur ou une partie de son corps se tienne entre l'ESPE et la zone dangereuse sans être détecté. Tous les autres côtés de la machine doivent également être protégés par des mesures adaptées.

En mode PSDI, la résolution des ESPE doit être inférieure ou égale à 30 mm (détection des doigts ou de la main).

→ Déclenchement de cycle : normes B EN ISO 13855, EN 61496-1
→ Mode PSDI sur presse : normes C EN 692, EN 693

Protecteurs

Les protecteurs sont des équipements de protection mécaniques qui empêchent ou évitent un accès direct aux points dangereux par les parties du corps. Ils peuvent être fixes ou mobiles. Des exemples de protecteurs sont les couvercles, clôtures, barrières, capots, portes de protection, etc.
Les couvercles et capots empêchent l'accès de tous côtés. Les grilles de protection sont généralement utilisées pour éviter l'accès des personnes. À l'inverse, les barrières servent simplement à éviter l'accès involontaire / inconscient aux points dangereux.
La fonction de sécurité est importante pour le dimensionnement des protecteurs. Par exemple, le protecteur doit-il seulement empêcher l'accès, ou doit-il (aussi) retenir des pièces/matériaux et rayonnements ?

Exemples de matériaux éjectés :

- rupture/éclatement d'outils (meules, forets)
- émissions de matériaux (poussière, copeaux, éclats, particules)
- projections de matériaux (huile hydraulique, air comprimé, lubrifiants, matériaux transformés)
- pièces éjectées suite à la défaillance d'un système de préhension ou de manutention

Exemples de rayonnements :

- émission de chaleur du processus ou des produits (surfaces chaudes)
- rayonnement optique des faisceaux laser, IR ou UV
- émission de particules ou d'ions
- champs magnétiques forts, dispositifs haute fréquence
- haute tension des systèmes de contrôle ou des systèmes de dérivation des charges électrostatiques (papier et lignes de plastique)

Pour retenir des matériaux ou des rayonnements, les protecteurs doivent généralement répondre à des exigences plus importantes que pour seulement éviter l'accès des personnes.
Un protecteur peut rester endommagé (rupture ou déformation) dans les cas où l'appréciation des risques a démontré que cela n'entraîne aucun danger supplémentaire.

Exigences de base à respecter par les protecteurs

- Pour que les protecteurs répondent aux sollicitations prévisibles en fonctionnement, ils doivent être suffisamment solides et résistants. Les caractéristiques des protecteurs doivent être maintenues pendant toute la durée d'utilisation des machines.
- Ils ne doivent causer aucun risque supplémentaire.
- Il ne doit pas être possible de les contourner ou de les rendre inefficaces facilement.
- Ils ne doivent pas entraver la surveillance du processus de travail plus que nécessaire lorsque cette surveillance est obligatoire.
- Ils doivent être solidement maintenus en place.
- Ils doivent être soit maintenus par des systèmes impossibles à ouvrir sans outils, soit verrouillés par le mouvement dangereux de la machine.
- Dans la mesure du possible, ils ne doivent pas pouvoir rester en place lorsque leur moyen de fixation est absent.

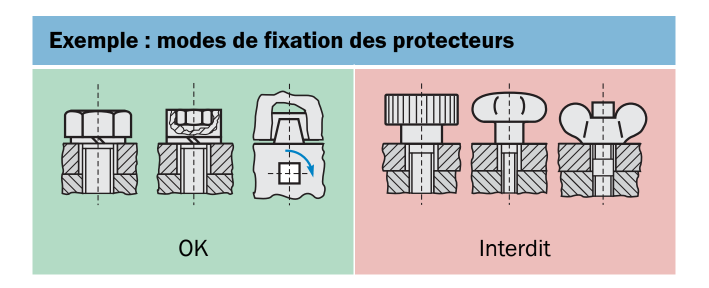
→ Protecteurs : EN 953 (norme B)
→ Principes de conception sûre des machines : EN ISO 12100 (norme A)

Fixation des protecteurs

Les protecteurs qui ne doivent être retirés ou bien ouverts que rarement ou pour les travaux de réparation doivent en principe être reliés au châssis de la machine de telle manière qu'il soit impossible de les démonter sans outil (par ex. clé à molette, clé à panneton). Leur démontage doit impliquer une procédure de montage nécessitant des outils.
Les éléments de fixation doivent être conçus de manière à ne pas pouvoir se perdre (par ex. vis captives).

D'autres modes de fixation comme les verrouillages rapides, les vis à poignée, vis moletées et vis papillon ne sont autorisés que si les protecteurs sont verrouillés.

Exemple : modes de fixation des protecteurs



3 c

Protecteurs mobiles

Les protecteurs mobiles qui sont ouverts fréquemment ou régulièrement (par ex. pour les travaux de réglage) sans outils doivent être couplés au mouvement dangereux (verrouillage, interverrouillage). On parle d'ouverture « fréquente » par ex. lorsque le protecteur doit être ouvert au moins une fois par poste.
Si l'ouverture des protecteurs est susceptible de générer des risques (par ex. course d'arrêt très longue), des dispositifs à interverrouillage sont nécessaires.

Exigences ergonomiques envers les protecteurs mobiles

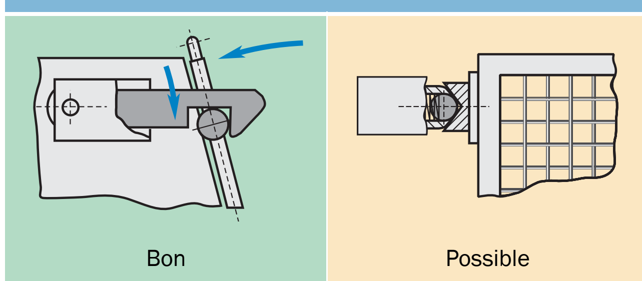
La conception des protecteurs doit également prendre en compte le point de vue de l'ergonomie. Les protecteurs ne sont acceptés par le personnel que lorsqu'ils n'entravent pas plus que nécessaire les travaux de maintenance et réparation ou autres tâches similaires. Les protecteurs mobiles doivent respecter les critères d'ergonomie suivants :

- ouverture et fermeture, levage ou déplacement faciles (par ex. d'une seule main)
- prise en main fonctionnelle
- les protecteurs ouverts doivent permettre l'accès nécessaire de manière confortable.

Blocage mécanique des protecteurs mobiles

Lorsque c'est réalisable, les protecteurs mobiles doivent être reliés à la machine de telle sorte que des charnières, des guides, etc. les maintiennent en position ouverte en toute sécurité. Les systèmes à verrouillage de forme seront privilégiés. Les systèmes à friction (par ex. calotte sphérique) ne sont pas recommandés en raison de leur efficacité décroissante (usure).

Exemple : blocage d'un protecteur



Verrouillage des protecteurs

Ces dispositifs de protection doivent être verrouillés lorsque :
- ils sont activés cycliquement ou bien ouverts régulièrement (portes, clapets) ;
- ils peuvent être retirés facilement ou sans outil ;
- ils protègent contre un important potentiel de danger.

Le verrouillage signifie qu'à l'ouverture du protecteur, un signal électrique est activé pour mettre fin en toute sécurité au déplacement dangereux. Les protecteurs sont habituellement verrouillés électriquement par des interrupteurs de sécurité.

Une exigence importante envers les dispositifs de verrouillage est l'actionnement forcé :
dans ce cas, les pièces mécaniques mobiles du verrouillage (interrupteur de sécurité) sont forcément entraînées par les pièces mécaniques du protecteur (par ex. porte de protection), soit par contact direct, soit par l'intermédiaire de pièces rigides.

Exemple : actionnement forcé

Sûr : l'ouverture de la porte de protection déplace obligatoirement le coulisseau de l'interrupteur de sécurité, ce qui ouvre le circuit de sécurité.

Conception défectueuse : l'interrupteur de sécurité n'ouvrira pas toujours le circuit de sécurité, par ex. en cas d'encroûtement ou de présence de lubrifiant résinifié qui bloque le coulisseau.

Source : BG Feinmechanik und Elektrotechnik, BGI 575

Interrupteurs de sécurité

Le verrouillage d'un protecteur par des interrupteurs de sécurité doit remplir les fonctions suivantes :
- les fonctions dangereuses des machines ne peuvent pas être exécutés si le protecteur est ouvert (absent) - prévention du démarrage ;
- la fonction dangereuse de la machine est stoppée si le protecteur est ouvert (retiré) - déclenchement de l'arrêt.

Formes d'interrupteurs de sécurité

Variante		Domaines d'utilisation typiques
	Interrupteur de sécurité avec actionneur séparé	■ Adapté pour les portes coulissantes et battantes ainsi que les capots amovibles ■ Le verrouillage peut être réalisé avec un interrupteur à interverrouillage
	Interrupteur de position à actionneur direct	■ Fin de cours de sécurité ■ Protection des portes battantes et des clapets
	Interrupteurs de sécurité sans contact	■ Machines en environnements difficiles ■ Installations à fortes exigences en matière d'hygiène

Principe de l'ouverture forcée (ou manœuvre positive d'ouverture)

Les interrupteurs de sécurité mécaniques se distinguent par le fait que les contacts s'ouvrent de force (si nécessaire jusqu'à la destruction = contacts guidés) et donc que la fonction de sécurité peut être exécutée même si les contacts sont collés ou en cas d'autre défaillance électrique. Pour les interrupteurs de sécurité à contacts multiples, les éléments reposant sur le principe de l'ouverture forcée doivent être intégrés pour l'exécution de la fonction de sécurité.



Identification des contacts à manœuvre positive d'ouverture selon la norme EN 60947-5-1, Annexe K

Disposition mécanique

Une disposition mécanique fiable des interrupteurs de sécurité est primordiale pour leur efficacité.

Les interrupteurs de sécurité…

- doivent être disposés de manière à être protégés des dommages causés par des influences externes prévisibles ;
- ne peuvent pas être utilisés comme butées mécaniques ;
- doivent être disposés et conçus de manière à éviter tout actionnement involontaire, toute modification de position et tout dommage : l'interrupteur et la came de commande peuvent être protégés par une fixation à verrouillage de forme (et non par friction), par ex. trous ronds, goupilles, butées ;
- doivent être sécurisés dans leur mode d'actionnement ou leur intégration dans le système de commande, afin d'être impossibles à éviter simplement (pour cette raison, les interrupteurs de position doivent être câblés comme contacts NF = principe du courant de repos) ;
- doivent permettre la vérification de leur bon fonctionnement et, si possible, être facilement accessibles pour les contrôles.

En outre, pour les interrupteurs de position :

- la course d'actionnement doit être réglée en fonction de la course d'ouverture forcée d'après les indications du fabricant. La course minimale du coulisseau indiquée par le fabricant doit être respectée pour garantir la course de commutation nécessaire à l'ouverture forcée.

Exemple : disposition mécanique des interrupteurs de sécurité

Montage correct : l'interrupteur de sécurité est protégé par une butée mécanique.

Montage correct : la hauteur de la came est réglée pour l'interrupteur de sécurité.

Montage incorrect : l'interrupteur de sécurité sert de butée.

Protection contre les manipulations

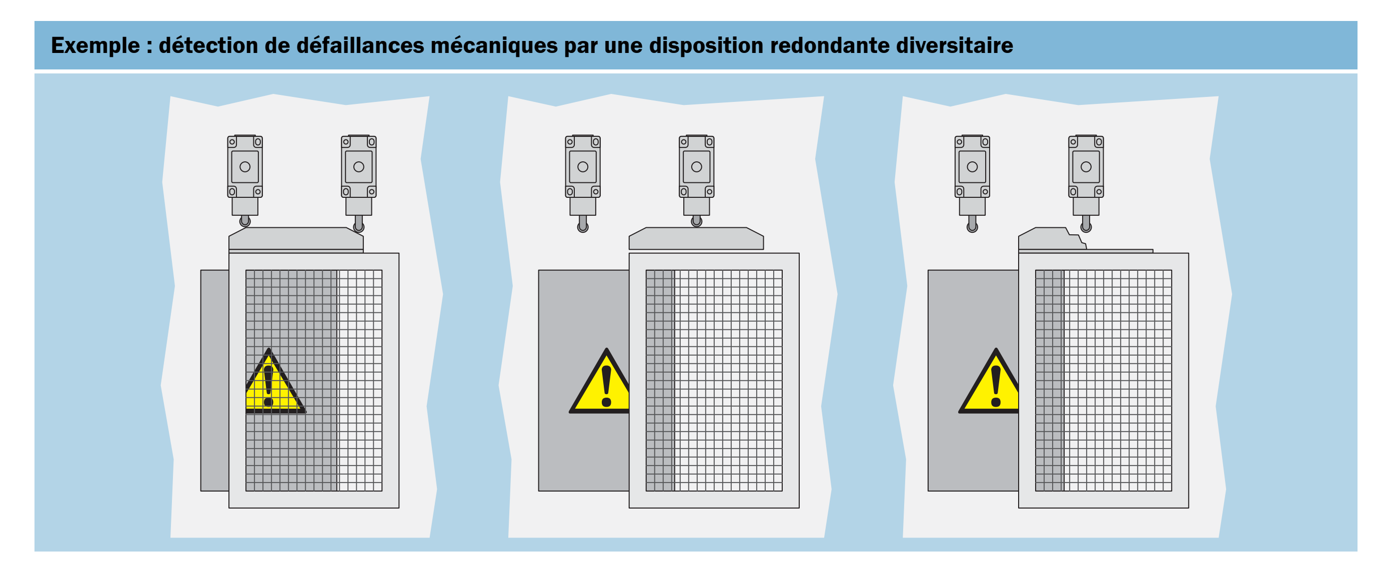
Pour tous les interrupteurs de sécurité : il doit être impossible de les manipuler par des moyens simples, par exemple des vis, aiguilles, morceaux de tôle, pièces, fils de fer recourbés, etc.

Exécution redondante

Une manipulation, une défaillance mécanique de l'actionneur ou de l'unité de détection (ex. : vieillissement) ou l'influence d'environnements difficiles (ex.: encrassement des poussoirs à galets par les poussières de farine) peut provoquer une défaillance critique d'un seul interrupteur de sécurité. Il est nécessaire, en particulier à un niveau de sécurité élevé, d'accompagner l'interrupteur de sécurité d'un autre interrupteur, par ex. avec une fonction contraire, et de surveiller les deux interrupteurs au niveau du système de commande.

Exemple : une machine à injecter dont les portes protègent contre un risque élevé et doivent être actionnées de manière cyclique. L'utilisation de plusieurs interrupteurs mécanique pour chaque porte est recommandée.

Exemple : détection de défaillances mécaniques par une disposition redondante diversitaire



Version sans contact

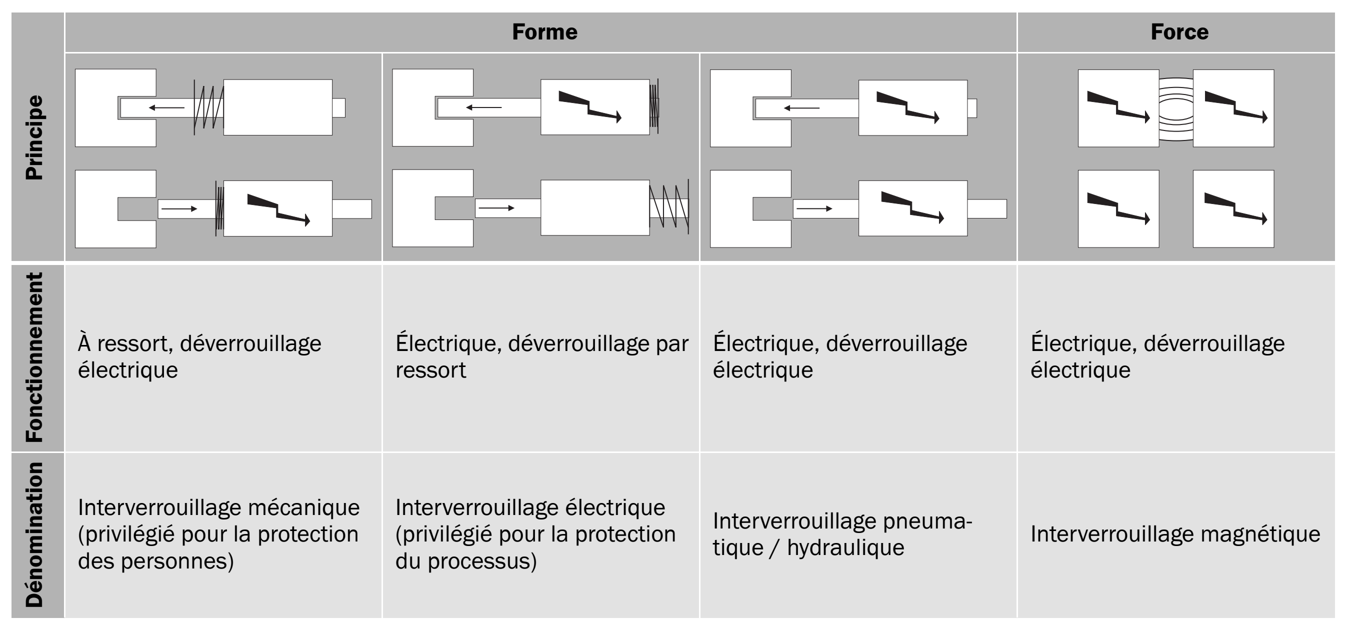
Les interrupteurs de sécurité sans contact sont conçus pour être redondants en interne ou équipés de dispositifs particuliers tels que le codage par aimants, le couplage inductif ou des transpondeurs à codage.

- → Exigences relatives aux interrupteurs de sécurité/dispositifs de verrouillage : Norme B – EN 1088
- → Principe de l'ouverture forcée (manœuvre positive d'ouverture) : Norme B EN 60947-5-1
- → Machines à injecter le plastique / le caoutchouc : Norme C EN 201

Interrupteurs de sécurité à interverrouillage

La fonction de sécurité « empêcher temporairement l'accès » est généralement réalisée au moyen de dispositifs à interverrouillage. Ces systèmes sont nécessaires si le temps d'arrêt du mouvement dangereux est long (protection des personnes) ou bien si le processus ne doit pas être interrompu (protection du processus).

Les systèmes à interverrouillage empêchent l'ouverture des protecteurs. En outre, un dispositif à interverrouillage doit maintenir le protecteur fermé jusqu'à ce que tout risque de blessure soit écarté.
Typiquement, on distingue les variantes suivantes :



	Forme			Force
Principe				
Fonctionnement	À ressort, déverrouillage électrique	Électrique, déverrouillage par ressort	Électrique, déverrouillage électrique	Électrique, déverrouillage électrique
Dénomination	Interverrouillage mécanique (privilégié pour la protection des personnes)	Interverrouillage électrique (privilégié pour la protection du processus)	Interverrouillage pneumatique / hydraulique	Interverrouillage magnétique

Le déverrouillage électrique peut être :

- temporisé : si un temporisateur est utilisé, une défaillance de ce dispositif ne doit pas diminuer la temporisation.
- automatique : uniquement en l'absence d'état dangereux de la machine (par ex. au moyen d'une surveillance d'arrêt).
- manuel : la durée entre le déverrouillage et la validation du dispositif de sécurité doit être supérieure au temps d'arrêt de l'état dangereux de la machine.

Intégration mécanique et électrique

Pour les dispositifs à interverrouillage, les mêmes règles s'appliquent généralement qu'aux interrupteurs de sécurité.
Par rapport au principe de l'ouverture forcée, veillez à noter quels contacts sont à manœuvre positive d'ouverture. Les contacts d'état de porte indiquent si l'actionneur a été tiré, c'est-à-dire si la porte est ouverte. Ils peuvent être à manœuvre positive d'ouverture, même si ce n'est pas obligatoire.
Un critère important pour le choix du dispositif à interverrouillage est la force nécessaire pour maintenir l'équipement de protection fermé.

Déverrouillage auxiliaire et d'urgence

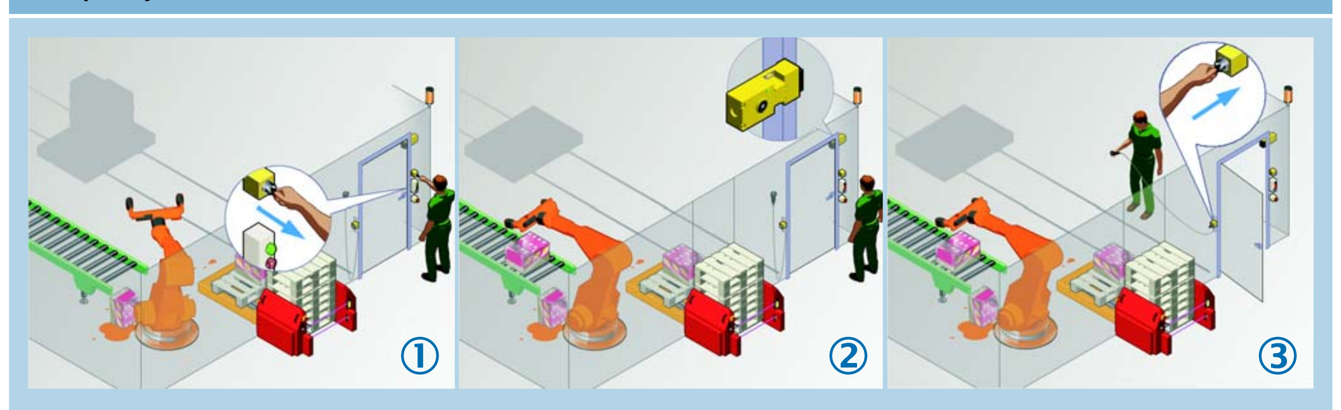
L'appréciation des risques peut révéler qu'en cas de défaillance ou d'urgence, des mesures sont nécessaire pour libérer des personnes de la zone dangereuse. On distingue les concepts de déverrouillage auxiliaire (avec outil) et de déverrouillage d'urgence (sans outil).

Systèmes de transfert de clé

Les dispositifs de protection ont pour inconvénient de ne pas pouvoir empêcher efficacement le redémarrage en cas d'entrée dans la zone dangereuse suivie d'une fermeture de la porte. Des mesures supplémentaires sont nécessaires, comme un dispositif de réarmement ou l'accrochage d'un mousqueton dans les actionneurs de l'interrupteur de sécurité. Ces mesures d'organisation sont toutefois dépendantes de l'attention de l'utilisateur.

Les systèmes de transfert de clé combinés aux dispositifs d'interverrouillage offrent la possibilité d'empêcher le démarrage. Une clé enfoncée dans une serrure à l'extérieur de la zone dangereuse permet le fonctionnement automatique et maintient la porte fermée. Lorsque la clé est retirée (figure①), l'état dangereux est stoppé. Lorsque la machine est dans un état sûr (par ex. à l'arrêt), la porte peut être ouverte (figure②). À l'intérieur de la zone dangereuse, la clé enfoncée dans une serrure permet d'activer les modes de réglage (figure③). Le mode automatique est bloqué pendant ce temps.

Exemple : système de transfert de clé



Équipements de protection par maintien à distance

Les équipements de protection par maintien à distance sont des dispositifs qui maintiennent une personne ou des parties de son corps à un emplacement situé hors de la zone dangereuse.

Pour un aperçu complet des équipements de protection fixes :
→ Alfred Neudörfer, Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer Verlag, Berlin u.a., ISBN 978-3-540-21218-8 (3è édition 2005)

Commandes bimanuelles

Une commande bimanuelle ne protège qu'une seule personne ! S'il y a plusieurs opérateurs, chacun doit activer une commande bimanuelle. Un mouvement dangereux ne peut être déclenché que par une action volontaire des deux mains sur la commande bimanuelle et doit s'arrêter dès que l'une des mains quitte la commande.

Il existe différents types de commandes bimanuelles. Les caractéristiques qui les distinguent sont le type d'organes de commande ainsi que les exigences relatives au système de commande.

Les principes de base suivants s'appliquent à tous les types :
- l'utilisation des deux mains doit être garantie ;
- le relâchement de l'un des deux organes de commande met fin au déplacement dangereux ;
- tout actionnement involontaire doit être évité ;
- il doit être impossible de contourner facilement le dispositif de sécurité ;
- la commande bimanuelle ne peut pas être déplacée dans la zone dangereuse.

Pour les commandes bimanuelles de type II et type III, on a en plus :
- l'enclenchement d'un nouveau mouvement ne doit avoir lieu qu'après avoir relâché puis actionné à nouveau les deux organes de commande.

Pour les commandes bimanuelles de type III, on a en plus :
- le démarrage d'un mouvement ne peut se produire que lorsque les deux organes de commande ont été actionnés simultanément avec un délai maximal de 0,5 s entre les deux.

Les commandes bimanuelles de type III sont divisées en sous-types avec des exigences particulières en termes de commande. Les principaux sous-types sont :
- Type III A : traitement d'un contact NO par organe de commande (2 entrées)
- Type III C : traitement d'un contact NO et d'un contact NF par organe de commande (4 entrées)

→ Exigences relatives aux commandes bimanuelles : EN 574 (norme B)

3
c

Dispositifs de validation

Lors du montage, de la maintenance et si les processus de fabrication doivent être observés en détail, certaines fonctions des dispositifs de protection doivent parfois être temporairement désactivées. Outre d'autres mesures réduisant les risques (force/vitesse réduite etc.), il faut des dispositifs de commande que l'on doit actionner pendant la durée de désactivation. Les dispositifs de validation sont une solution.

Les dispositifs de validation (par ex. poignée homme mort) sont des dispositifs de commande actionnés physiquement, permettant d'envoyer l'accord de l'opérateur aux fonctions de la machine. En général, on utilise comme dispositifs de validation des boutons-poussoirs ou des interrupteurs à pédale.

En outre, le dispositif de validation peut s'accompagner d'une commande de démarrage supplémentaire sous la forme de joysticks ou de touches à impulsion. Les dispositifs de validation à 3 niveaux ont fait leurs preuves dans l'industrie et sont donc à recommander.



Le démarrage de la machine ne doit pas être déclenché par le seul actionnement d'un dispositif de validation. En fait, le déplacement ne doit être autorisé que pendant que le dispositif de validation est actionné.

Fonctionnement d'un dispositif de validation à 3 niveaux :

Position	Élément mobile	Fonction
1	Pas actionné	Inactif
2	En position médiane (point de pression)	Validation
3	Position médiane dépassée	Arrêt (coupure) d'urgence

En cas de passage de la position 3 à la position 2, la fonction de validation ne doit pas être réactivée.

Si des dispositifs de validation sont équipés de contacts séparés en position 3, ceux-ci doivent être intégrés dans le circuit d'arrêt d'urgence.

Même avec des dispositifs de validation, la protection contre les manipulations reste particulièrement importante.

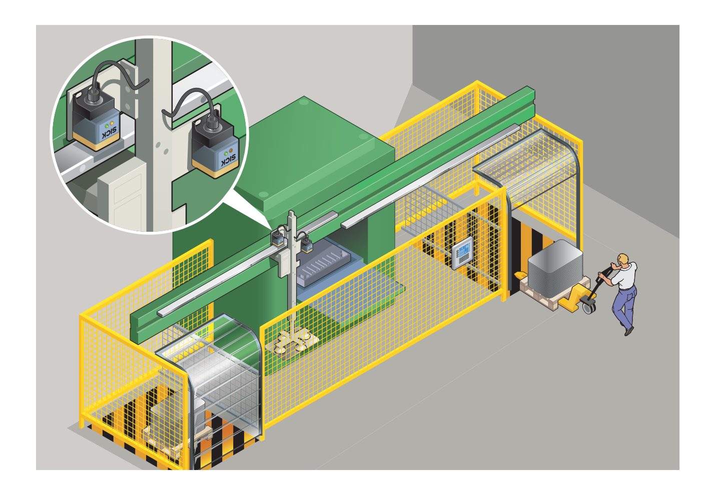
→ Exigences relatives aux dispositifs de validation : EN 60204-1 (norme B)

Capteurs de surveillance des paramètres de la machine

L'appréciation des risques peut révéler que certains paramètres de la machine doivent être surveillés et détectés pendant le fonctionnement.

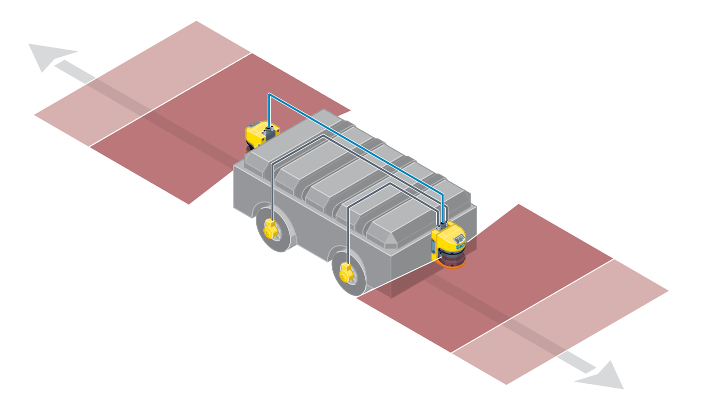
Surveillance de position de sécurité

Si une machine dépasse une certaine position, l'arrêt de la machine est déclenché. Pour cela, on peut par ex. utiliser des interrupteurs de sécurité (→ 3-22).
Les interrupteurs de sécurité inductifs sans contact sont particulièrement adaptés à cette tâche. Ils peuvent surveiller sans autre élément, sans usure et avec un indice de protection élevé la présence d'une partie donnée d'un axe robotisé ou d'une partie mobile de machine.



Surveillance de vitesse / course d'arrêt

Des codeurs ou autres systèmes de mesure de course fiables permettent la détection et le traitement de la vitesse ou de la course d'arrêt.
Les véhicules sans conducteur sont fréquemment équipés de codeurs aux essieux. Un algorithme de traitement intelligent peut déterminer avec fiabilité les paramètres de déplacement nécessaires.
Des modules de surveillance d'arrêt ou de mouvement contrôlent le mouvement des entraînements au moyen de capteurs ou de codeurs afin de générer un signal de commande sûr en cas d'arrêt ou de divergence par rapport aux paramètres définis. En cas d'exigences particulières de sécurité, il faut utiliser soit des codeurs de sécurité, soit des codeurs redondants. Il est également possible de surveiller la tension induite par magnétisme résiduel dans un moteur encore en mouvement.

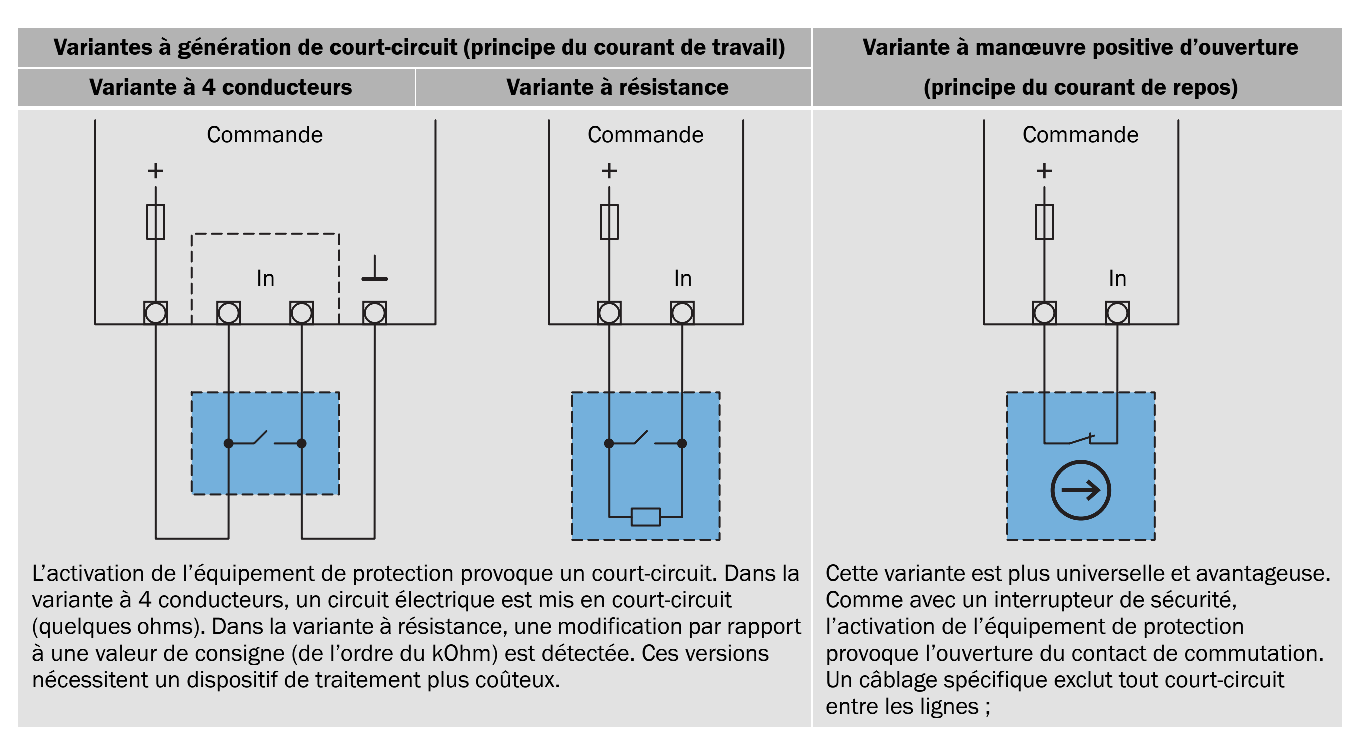


3
c

Dispositifs de sécurité sensibles à la pression

Dans certains cas, des dispositifs de sécurité sensibles à la pression - tapis tactiles, barres de commutation ou pare-chocs – peuvent être utiles. Leur principe de fonctionnement repose le plus souvent sur une déformation élastique d'un corps creux qui permet à un émetteur interne (électromécanique ou optique) d'envoyer un signal d'exécution de la fonction de sécurité.

Les systèmes électromécaniques courants existent en différentes versions.
Dans tous les cas, la conception mécanique et l'intégration doivent être correctes pour garantir l'efficacité de la fonction de sécurité.



Variantes à génération de court-circuit (principe du courant de travail)		Variante à manœuvre positive d'ouverture (principe du courant de repos)
Variante à 4 conducteurs	**Variante à résistance**	
L'activation de l'équipement de protection provoque un court-circuit. Dans la variante à 4 conducteurs, un circuit électrique est mis en court-circuit (quelques ohms). Dans la variante à résistance, une modification par rapport à une valeur de consigne (de l'ordre du kOhm) est détectée. Ces versions nécessitent un dispositif de traitement plus coûteux.		Cette variante est plus universelle et avantageuse. Comme avec un interrupteur de sécurité, l'activation de l'équipement de protection provoque l'ouverture du contact de commutation. Un câblage spécifique exclut tout court-circuit entre les lignes ;

→ Conception des équipements de protection sensibles à la pression : norme B EN 1760-1/-2

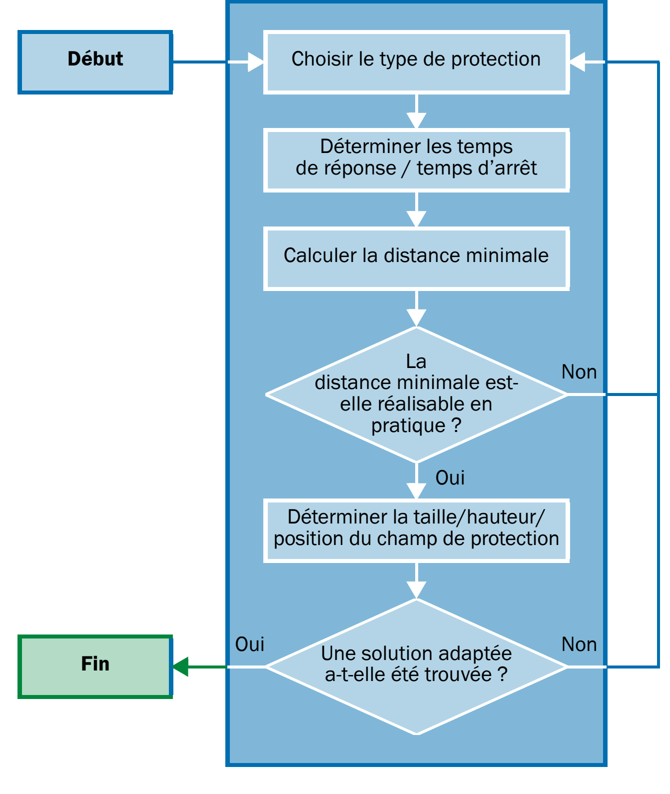
Interrupteurs à pédale

Les interrupteurs à pédale sont utilisés pour démarrer et stopper des processus de travail.
Sur certaines machines (par ex. presses, poinçonneuses, plieuses et machines de déformation des métaux), les interrupteurs à pédale ne peuvent être utilisés que dans des modes de fonctionnement séparés et uniquement avec d'autres mesures de protection (par ex. vitesse lente) pour les fonctions de sécurité. Dans ce cas, ils doivent faire l'objet d'une conception spécifique :

- capot de protection contre une action involontaire ;
- version à 3 niveaux analogue au principe des dispositifs de validation (cf. ci-dessus) ;
- possibilité de réarmement manuel en actionnant l'élément mobile au-delà du point de pression ;
- une fois le mouvement dangereux stoppé, le système ne peut être réactivé à la pédale qu'après avoir relâché la pédale puis l'avoir actionnée à nouveau ;
- traitement d'au moins un contact NO et un contact NF ;
- en cas de présence de plusieurs opérateurs, chacun doit actionner un interrupteur à pédale ;

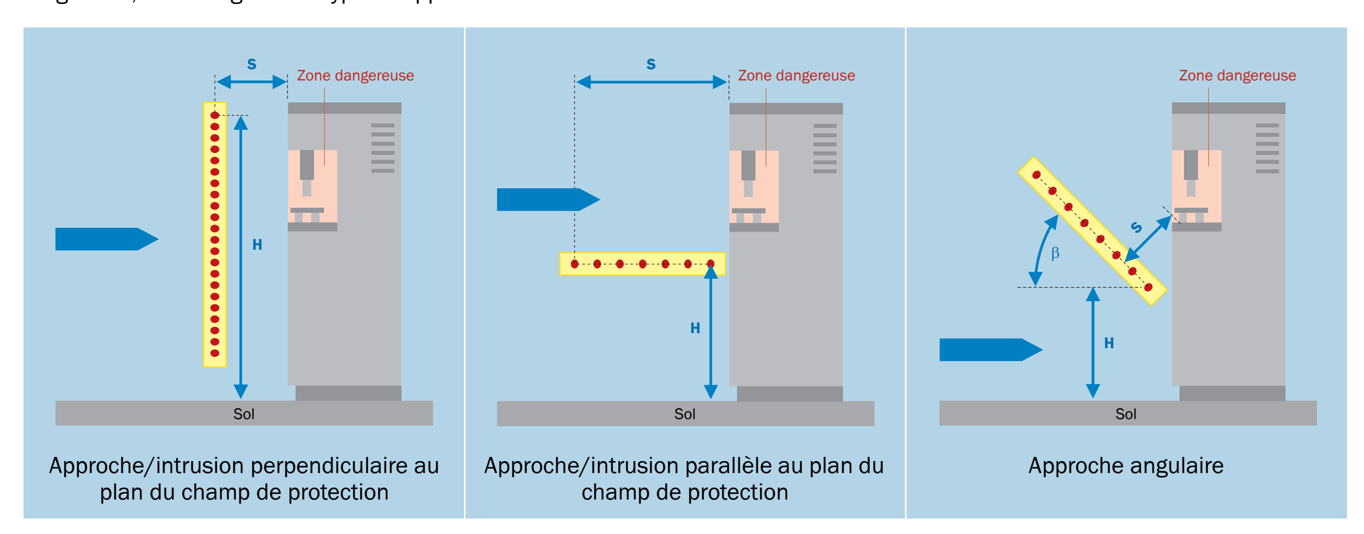
Positionnement / dimensionnement des équipements de protection

Un aspect important lors du choix de l'équipement de protection optimal est la place disponible. Il faut s'assurer que la situation dangereuse est supprimée bien avant d'atteindre le point dangereux.
La distance minimale (distance de sécurité) nécessaire dépend entre autres de la taille et du type d'équipement de protection.



Distance minimale pour les ESPE en fonction de l'approche

La notion de distance de sécurité (distance minimale) s'applique aussi aux ESPE à champ de protection en 2 dimensions, comme les barrages immatériels, les barrières optoélectroniques (AOPD), les scrutateurs laser (AOPDDR) ou les systèmes de caméras 2D. En général, on distingue trois types d'approche.



Approche/intrusion perpendiculaire au plan du champ de protection

Approche/intrusion parallèle au plan du champ de protection

Approche angulaire

Après avoir choisi l'ESPE déclenchant l'arrêt, calculer la distance minimale nécessaire entre le champ de protection de l'ESPE et le point dangereux le plus proche.

Les paramètres suivants sont à prendre en compte :

- temps d'arrêt de la machine ;
- temps de réponse de la commande relative à la sécurité ;
- temps de réponse de l'équipement de protection (ESPE) ;
- suppléments dépendant de la résolution de l'ESPE, de la hauteur du champ de protection et/ou du type d'approche.

Si la distance minimale est trop importante et inacceptable du point de vue ergonomique, il faut soit réduire le temps d'arrêt total de la machine, soit utiliser un ESPE à résolution plus fine. Toute possibilité de contournement ou de stationnement derrière l'ESPE doit être exclue.

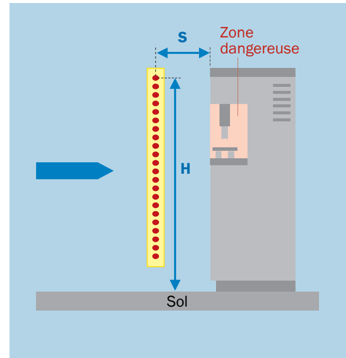
→ Le calcul de la distance minimale d'un ESPE est décrit dans la norme EN ISO 13 855 (norme B).

Formule générale de calcul
$S = (K \times T) + C$

Avec :
- **S** la distance minimale en millimètres, mesurée du point dangereux le plus proche jusqu'au point, à la ligne ou au plan de détection de l'ESPE.
- **K** un paramètre en millimètres par seconde, dérivé des données de vitesse d'approche du corps ou des parties du corps humain.
- **T** le temps d'arrêt du système complet en secondes.
- **C** une distance supplémentaire en millimètres dépendant de l'applica-tion (cf. tableau ci-après).

Le tableau ci-après contient les formules de calcul de la distance minimale S en fonction de l'approche vers le champ de protection.

Approche perpendiculaire : β = 90° (±5°)

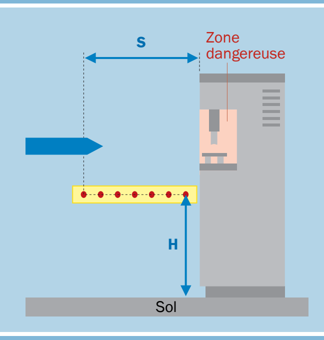


Étape 1 : calcul de la distance minimale S

d ≤ 40 mm	S = 2000 × T + 8 × (d – 14) Si S > 500 mm, utilisez la formule suivante : S = 1600 × T + 8 × (d –14). Dans ce cas, S ne doit pas être < 500 mm.	La distance minimale S ne doit pas être < 100 mm. C = 8 × (d – 14) est ici la distance supplémentaire en millimètres qui représente la possibilité d'intrusion dans la zone dangereuse **avant** le déclenchement de l'équipement de protection.
40 < d ≤ 70 mm	S = 1600 × T + 850	Hauteur du faisceau le plus bas ≤ 300 mm Hauteur du faisceau le plus haut ≥ 900 mm
d > 70 mm	S = 1600 × T + 850	**Nb de faisceaux** / **Hauteurs recommandées** 4 : 300, 600, 900, 1200 mm 3 : 300, 700, 1100 mm 2 : 400, 900 mm (Utiliser une hauteur de 400 mm uniquement lorsqu'il n'y a pas de risque de contournement par le bas.)

Étape 2 : calcul de la hauteur de l'angle supérieur du champ de protection (→ 3-35)

Approche parallèle : β = 0° (±5°)



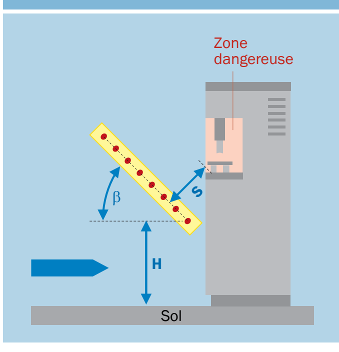
Étape 1 : calcul de la distance minimale S

	S = 1600 × T + (1200 – 0,4 × H) où C = (1200 – 0,4 × H) ≥ 850 mm	H ≤ 1000 mm

Étape 2 : calcul de la résolution en fonction de la hauteur du champ de protection

	$d \leq \frac{H}{15} + 50$ mm	H ≤ 1000 mm d ≤ 117 mm

Approche angulaire : 5° < β < 85°



β > 30°	Cf. approche perpendiculaire.	$d \leq \frac{H}{15} + 50$ se rapporte au faisceau le plus bas. S s'applique au faisceau le plus éloigné de la zone dangereuse dont la hauteur est ≤ 1000 mm.
β < 30°	Cf. approche parallèle.	

S : distance minimale
H : hauteur de champ de protection (plan de détection)
d : résolution de l'ESPE
β : angle entre le plan de détection et la direction de pénétration
T : temps d'arrêt du système entier

Cas particuliers

Applications pour presses

Des normes C spécifiques peuvent contenir des indications différentes des normes génériques. Pour les presses en particulier, les valeurs suivantes s'appliquent :

Calcul du supplément pour les presses		
Résolution d (mm) de l'ESPE	**Supplément C (mm)**	**Déclenchement de course par ESPE/mode PSDI**
d ≤ 14	0	Autorisé
14 < d ≤ 20	80	
20 < d ≤ 30	130	
30 < d ≤ 40	240	Interdit
> 40	850	

→ Normes pour les presses : EN 692/693 (normes C)

ESPE pour protection anti-enfermement

Ce type de protection est recommandé pour les grandes installations accessibles à partir du sol. Dans ce cas particulier, il faut empêcher que l'installation démarre (fonction de sécurité « Empêcher le démarrage ») tant qu'un opérateur se trouve à l'intérieur (entre le barrage principal et le point dangereux). Il s'agit ici d'un équipement de protection secondaire. En plus de l'ESPE pour protection anti-enfermement, il faut une protection principale pour la fonction de sécurité « Déclencher l'arrêt », par ex. sous la forme d'un autre ESPE ou d'un protecteur mobile verrouillé.

Dans ce cas, la distance minimale doit être calculée pour l'équipement de protection principal (par ex. un barrage immatériel vertical chargé de stopper l'installation).

L'équipement de protection secondaire (avec champ de protection horizontal) détecte la présence d'une personne dans l'installation dont il empêche le démarrage.

Application d'ESPE sur véhicules

Lorsque la situation dangereuse provient d'un véhicule, en général c'est la vitesse du véhicule qui est prise en compte pour déterminer la distance minimale et non la vitesse d'approche de la personne.

Si le véhicule (et dont l'équipement de protection) s'approche d'une personne, normalement on suppose que la personne reconnaît le danger et s'arrête ou s'éloigne. La distance minimale doit donc être « seulement » assez grande pour permettre l'arrêt du véhicule en toute sécurité.

En fonction de l'application et de la technologie utilisée, des distances de sécurité supplémentaires peuvent être nécessaires.

Application stationnaire avec ESPE embarqué



Sur certaines machines, les opérateurs sont obligés de se tenir très près de la zone dangereuse. Sur les presses plieuses, des tôles de petite taille doivent être maintenues près de l'angle de pliage. Une solution pratique est l'utilisation de dispositifs de protection embarqués qui génèrent en permanence un champ de protection tout autour des ouvertures de l'outil. La vitesse de préhension n'est pas prise en compte, la formule générale n'est donc pas applicable.

Les exigences en termes de résolution sont très élevées et les réflexions sur les surfaces métalliques doivent être exclues. Pour cela, on utilise des systèmes laser focalisés avec caméra de traitement. Ce type de protection est défini dans les normes C conjointement avec d'autres mesures (par ex. interrupteur à pédale à 3 positions, mesure automatique de course d'arrêt, port obligatoire de gants, etc.).

→ Sécurité des presses plieuses avec ESPE embarqué : EN 12622 (norme C)

La mesure du temps d'arrêt et de la distance minimale nécessaire requiert un savoir-faire et un équipement particuliers. SICK propose ces mesures dans le cadre de ses prestations de service.

3
c

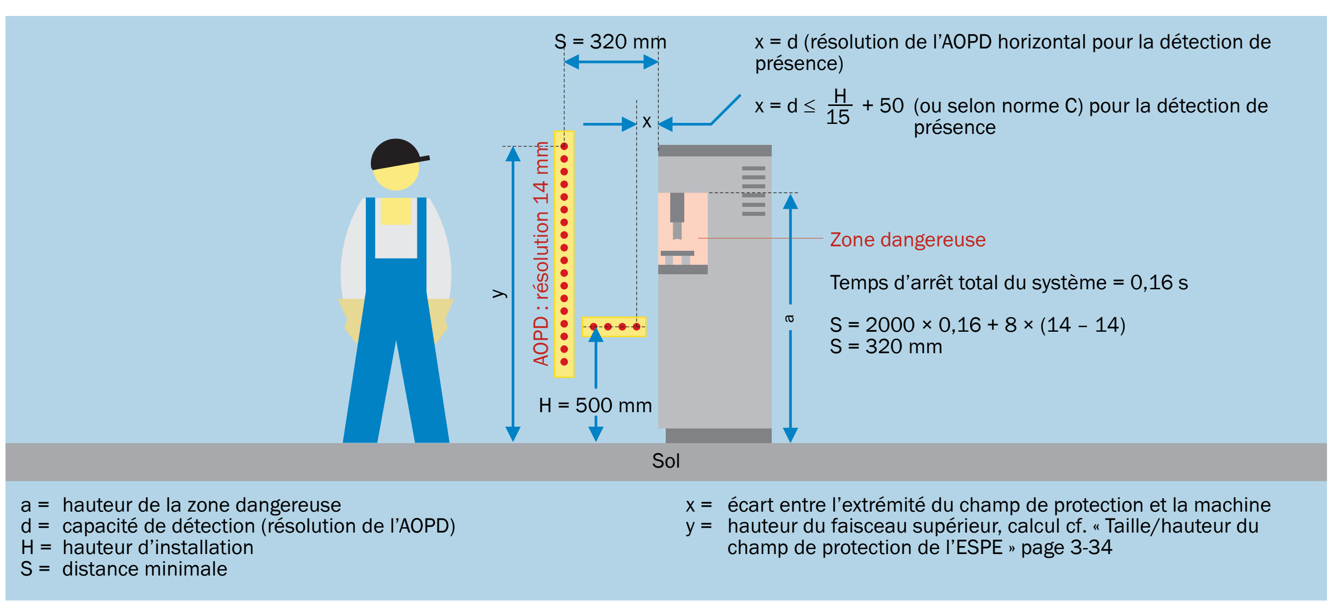
3
c

Exemples de calcul de la distance minimale

Solution 1 : approche perpendiculaire – protection des points dangereux avec protection anti-enfermement

Le calcul représenté dans l'illustration donne une distance minimale S = 320 mm. En utilisant un barrage immatériel de sécurité avec la meilleure résolution possible, c'est déjà la distance minimale optimale.

Pour que la personne soit détectée en tout point de la zone dangereuse, on utilise deux AOPD : un AOPD vertical positionné selon la distance minimale calculée (approche verticale) et un AOPD horizontal qui empêche de se trouver derrière la barrière verticale.

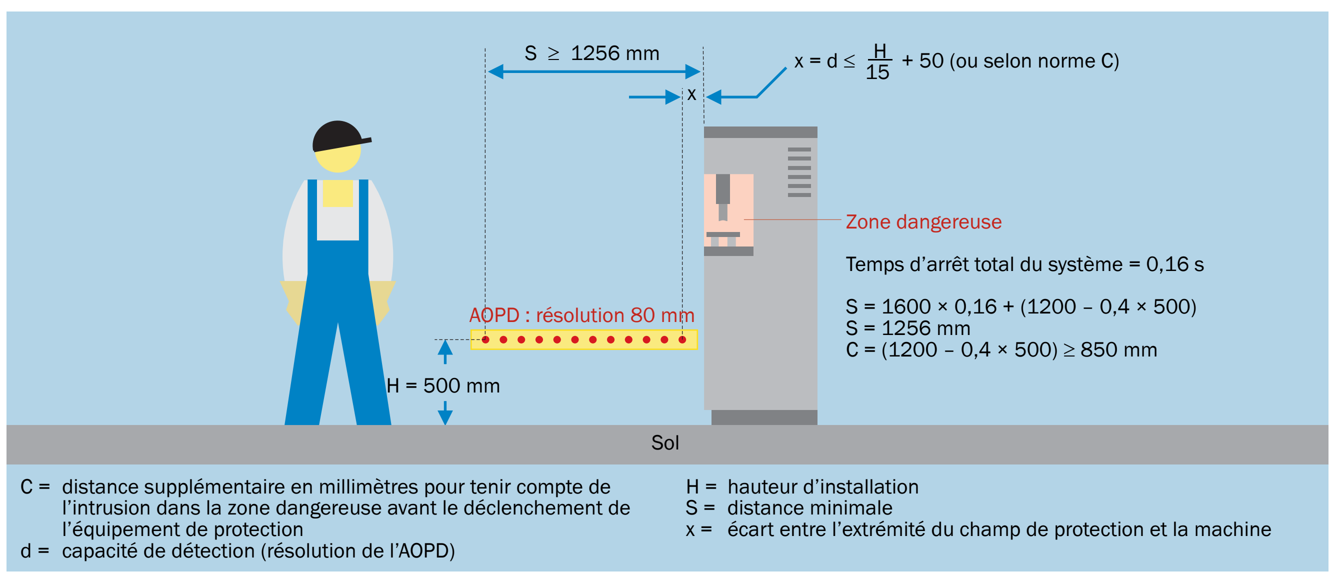


a = hauteur de la zone dangereuse
d = capacité de détection (résolution de l'AOPD)
H = hauteur d'installation
S = distance minimale
x = écart entre l'extrémité du champ de protection et la machine
y = hauteur du faisceau supérieur, calcul cf. « Taille/hauteur du champ de protection de l'ESPE » page 3-34

Solution 2 : approche parallèle – protection de zone

On utilise un AOPD horizontal. L'illustration ci-dessous montre le calcul de la distance minimale S et le positionnement de l'AOPD. Si la hauteur d'installation de l'AOPD est augmentée de 500 mm, la distance minimale diminue. Pour cette hauteur, on peut utiliser un AOPD d'une résolution de 80 mm ou moins.

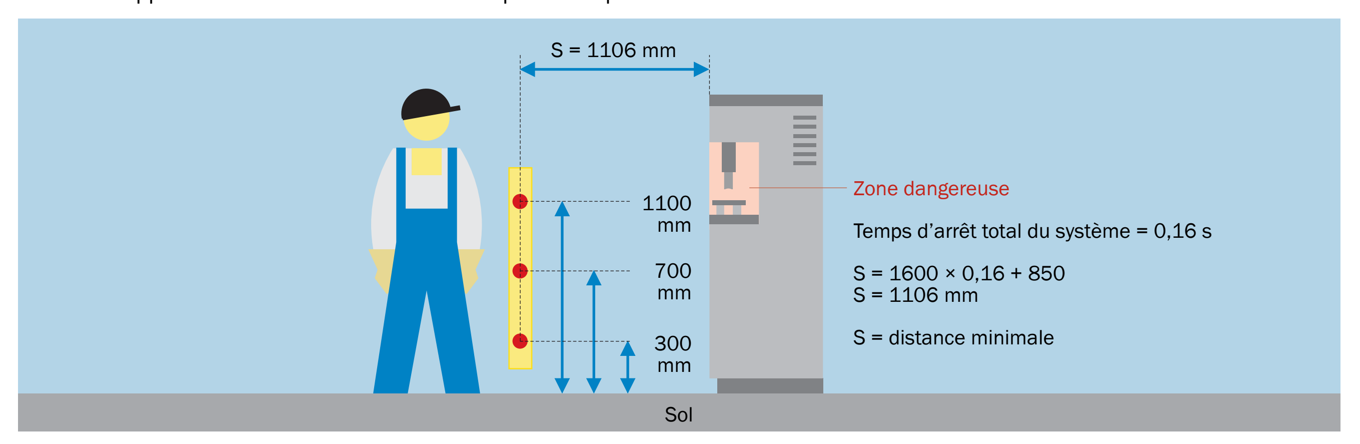
Cependant, aucun accès à la zone dangereuse ne doit être possible par le dessous de l'AOPD. Ce type de protection est souvent réalisé avec un AOPDDR (scrutateur laser). Cependant, la technologie de ces appareils nécessite généralement une distance de sécurité plus importante.



C = distance supplémentaire en millimètres pour tenir compte de l'intrusion dans la zone dangereuse avant le déclenchement de l'équipement de protection
d = capacité de détection (résolution de l'AOPD)
H = hauteur d'installation
S = distance minimale
x = écart entre l'extrémité du champ de protection et la machine

Solution 3 : Contrôle d'accès

Un contrôle d'accès à 3 faisceaux (hauteur 300 mm, 700 mm et 1100 mm) permet une approche verticale. Cette solution n'empêche pas un opérateur de se trouver entre la zone dangereuse et l'AOPD sans être détecté. Pour cela, il faut prendre des mesures supplémentaires afin de réduire ce risque. Le dispositif de commande (par ex. bouton de réarmement) doit être positionné de manière à ce que l'ensemble de la zone dangereuse soit visible, sans être accessible depuis l'intérieur de cette zone.



Aperçu du résultat

Le tableau ci-dessous indique le résultat des solutions présentées. Les exigences opérationnelles déterminent le choix de l'une des solutions :

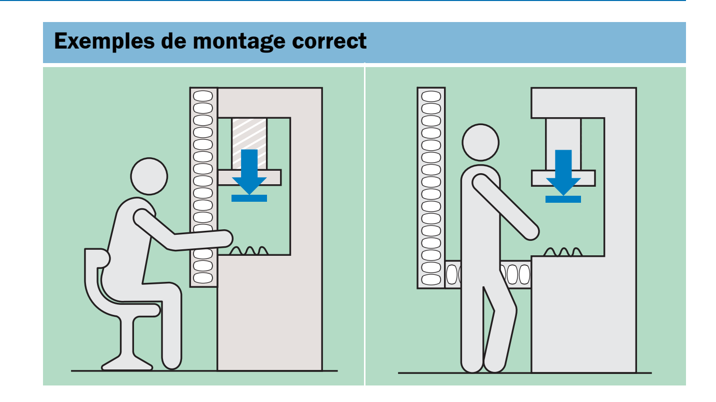
	Solution pour un temps d'arrêt = 0,16 s	**Avantages**	**Inconvénients**
1	**Protection de points dangereux** **S = 320 mm**	■ Productivité supérieure, car l'opérateur se tient plus près du processus de travail (trajets courts) ■ Démarrage automatique ou mode PSDI possibles ■ Faible encombrement	■ Prix plus élevé de l'équipement de protection en raison de sa résolution élevée et de la protection anti-enfermement
2	**Protection de zone** **S = 1256 mm**	■ Démarrage automatique possible ■ Permet de protéger l'accès quelle que soit la hauteur de la zone dangereuse	■ L'opérateur est plus loin (trajets longs) ■ Encombrement supérieur ■ Productivité moindre
3	**Contrôle d'accès** **S = 1106 mm**	■ Solution économique ■ Permet de protéger l'accès quelle que soit la hauteur de la zone dangereuse ■ Protection sur plusieurs côtés en utilisant des miroirs de renvoi	■ L'opérateur est plus loin (trajets longs) ■ Productivité moindre (réarmement de l'ESPE obligatoire) ■ Le risque d'enfermement est à prendre en compte. Solution non recommandée si plusieurs personnes occupent le poste de travail.

Taille/hauteur du champ de protection de l'ESPE

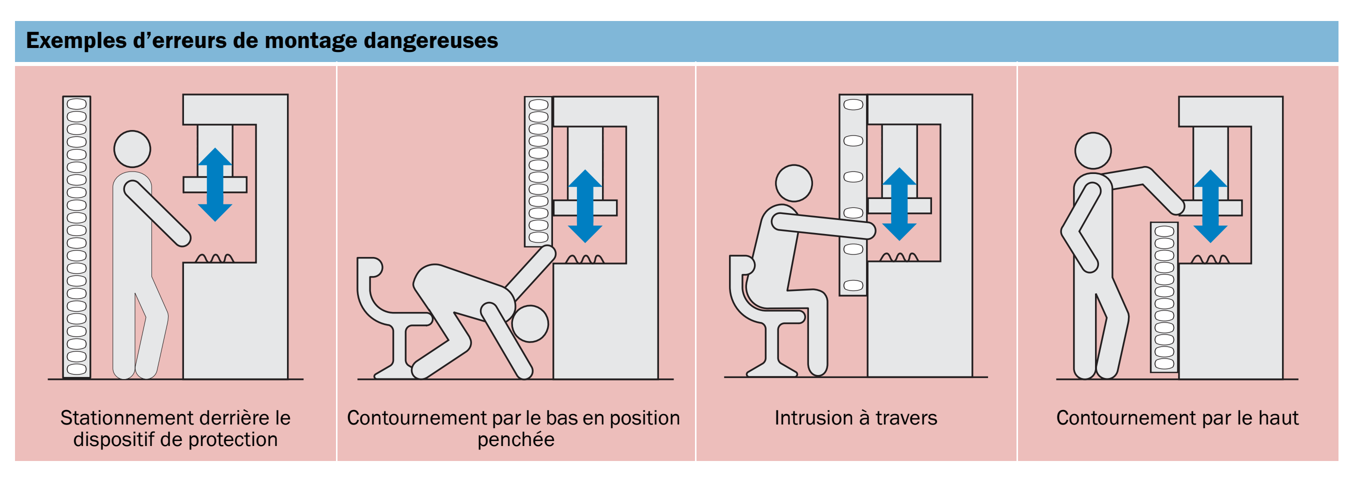
En général, le montage des équipements de protection doit éviter les erreurs suivantes :

- la zone dangereuse ne doit être accessible qu'en traversant le champ de protection.
- les zones dangereuses ne doivent pas être accessibles en contournant la protection par le haut, le bas ou les côtés ;
- s'il est possible de passer derrière des équipements de protection, mes mesures supplémentaires doivent assurer la sécurité (par ex. verrouillage de redémarrage, équipement de protection secondaire).

Exemples de montage correct



Exemples d'erreurs de montage dangereuses



Stationnement derrière le dispositif de protection | Contournement par le bas en position penchée | Intrusion à travers | Contournement par le haut

Une fois la distance minimale entre le champ de protection et le point dangereux le plus proche calculée, il faut ensuite déterminer la hauteur de champ de protection. Il ne doit pas être possible d'atteindre la zone dangereuse en contournant l'équipement de protection par le haut.

Hauteur de champ de protection nécessaire des ESPE selon EN ISO 13855

Hauteur a de la zone dangereuse (mm)	Distance horizontale supplémentaire C jusqu'à la zone dangereuse (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hauteur b du bord supérieur du champ de protection (mm)											
	900	**1000**	**1100**	**1200**	**1300**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2600**

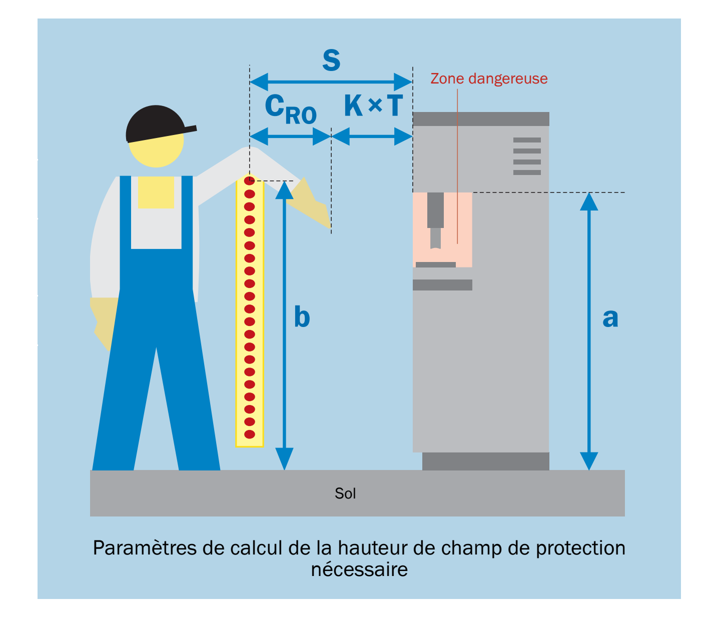
Lorsqu'il est possible de contourner un champ de protection vertical par le haut, la distance supplémentaire **C** du tableau doit être utilisée (ou bien il faut choisir la hauteur **b** adaptée pour le bord supérieur du champ de protection). La formule suivante s'applique toujours :

$$C_{RO\ (\text{cont. par le haut})} \geq C_{RT\ (\text{intrusion à travers})}$$

Vous trouverez page suivante des exemples d'utilisation du tableau.

Conséquences

Dans certaines applications où l'on utilise des ESPE avec d > 40 mm (systèmes multifaisceaux), la distance minimale peut être accrue, sinon il faut utiliser des ESPE avec d ≤ 40 mm (barrages immatériels). Cette condition est valable lors de l'application de la norme EN ISO 13855. Certaines normes C divergent de la norme EN ISO 13855 pour le calcul des distances minimales.



Paramètres de calcul de la hauteur de champ de protection nécessaire

3 c

Calcul de la hauteur du bord supérieur du champ de protection

1. Calculez la distance supplémentaire C_{RT} selon les formules connues pour l'approche perpendiculaire :
   - ESPE de résolution d ≤ 40 mm : C_{RT} = 8 × (d – 14)
   - ESPE de résolution d > 40 mm : C_{RT} = 850 mm
2. Calculez la hauteur de la zone dangereuse **a** et cherchez-la dans la colonne de gauche du tableau.
3. Sur la ligne correspondante, notez la première colonne indiquant une distance horizontale **C** inférieure ou égale à la distance minimale calculée, par ex.« 0 ».
4. Dans la ligne inférieure du tableau, lisez la hauteur **b** résultante du bord supérieur du champ de protection, par ex. 1400 mm.

Hauteur a de la zone dangereuse (mm)	Distance horizontale supplémentaire C jusqu'à la zone dangereuse (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400 ①	1200	1200	1100	1000	900	850 ②	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hauteur b du bord supérieur du champ de protection (mm)											
	900	**1000**	**1100**	**1200**	**1300**	**1400** ③	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2600**

Exemple

- Résolution de l'ESPE : > 40 mm
- Hauteur **a** de la zone dangereuse : 1400 mm ①
- Supplément **C** dépendant de la résolution : 850 mm ②

La hauteur **b** du bord supérieur du champ de protection de l'ESPE ne doit pas être inférieure à 1400 ③ mm, sinon la distance horizontale par rapport à la zone dangereuse doit être augmentée.

S'il n'est pas possible de mettre en œuvre la hauteur nécessaire du bord supérieur du champ de protection, la distance supplémentaire C_{RO} doit être calculée comme suit :

1. Déterminez la hauteur **b** du bord supérieur du champ de protection (ESPE prévu ou existant) et cherchez cette valeur dans la ligne inférieure du tableau.
2. Calculez la hauteur de la zone dangereuse **a** et cherchez-la dans la colonne de gauche du tableau.
3. Lisez la distance horizontale **C** à l'intersection de la ligne et de la colonne correspondantes.

Hauteur a de la zone dangereuse (mm)	Distance horizontale supplémentaire C jusqu'à la zone dangereuse (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400 ②	1200	1200	1100 ③	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hauteur b du bord supérieur du champ de protection (mm)											
	900	**1000**	**1100** ①	**1200**	**1300**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2600**

Exemple

- ESPE standard à trois faisceaux (300/700/1100 mm)
- Hauteur **b** du bord supérieur du champ de protection : 1100 mm ①
- Hauteur **a** de la zone dangereuse : 1400 mm ②
- Supplément **C** dépendant de la résolution : 1100 mm

Le supplément **C** dépendant de la résolution à ajouter à la distance minimale doit être de 1100 mm ③ (au lieu de la valeur habituelle de 850 mm auparavant)

Distance de sécurité des protecteurs physiques

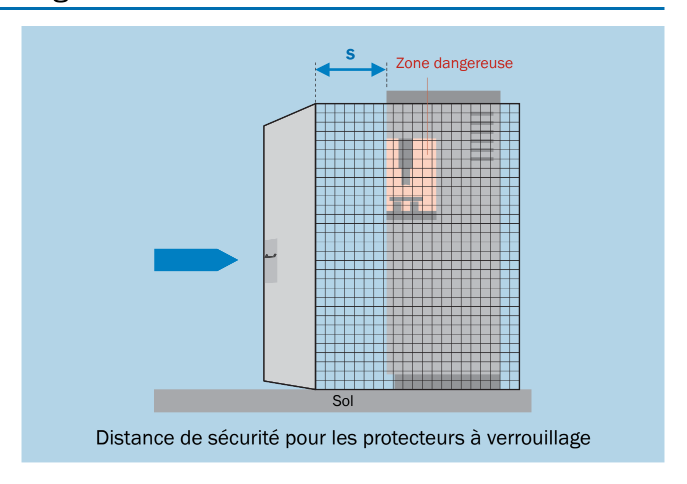
Les protecteurs doivent être à une distance suffisante de la zone dangereuse lorsqu'ils présentent des ouvertures. Cela s'applique également aux ouvertures entre l'équipement de protection et le châssis de la machine, les tables porte-pièces, etc.

Distance de sécurité en fonction des ouvertures des protecteurs

Partie du corps	Ouverture e (mm)	Distance de sécurité (mm)		
		Fente	Rectangle	Cercle
Bout du doigt	e ≤ 4	≥ 2	≥ 2	≥ 2
	4 < e ≤ 6	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Doigt jusqu'au poignet	6 < e ≤ 8	≥ 20	≥ 15	≥ 5
	8 < e ≤ 10	≥ 80	≥ 25	≥ 20
	10 < e ≤ 12	≥ 100	≥ 80	≥ 80
	12 < e ≤ 20	≥ 120	≥ 120	≥ 120
	20 < e ≤ 30	≥ 850	≥ 120	≥ 120
Bras jusqu'à l'épaule	30 < e ≤ 40	≥ 850	≥ 200	≥ 120
	40 < e ≤ 120	≥ 850	≥ 850	≥ 850

Distance de sécurité pour les protecteurs à verrouillage

Les protecteurs verrouillés qui déclenchent l'arrêt de la machine doivent respecter une distance de sécurité calculée de manière analogue à celle des ESPE. En alternative, les dispositifs à interverrouillage peuvent empêcher l'accès tant que le danger est encore présent.



Distance de sécurité pour les protecteurs à verrouillage

Formule générale de calcul

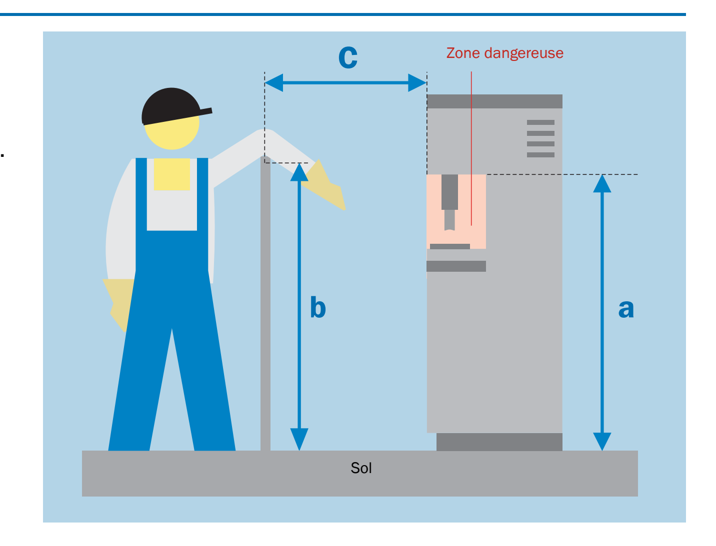
$$S = (K \times T)$$

Avec :
- **S** la distance minimale en millimètres mesurée depuis le point dangereux le plus proche jusqu'au point le plus proche d'ouverture de porte.
- **K** un paramètre en millimètres par seconde, dérivé des données de vitesse d'approche du corps ou des parties du corps, en général défini à 1600 mm/s.
- **T** le temps d'arrêt du système complet en secondes.

→ Calcul de la distance de sécurité pour les protecteurs verrouillés : EN ISO 13855 (norme B)

Hauteur nécessaire des protecteurs physiques

On applique aux protecteurs la même procédure que pour les ESPE. Selon le potentiel de danger, différents tableaux de calcul sont à prendre en compte.
Pour éviter un contournement des protecteurs par le bas, il suffit en général de les positionner à 200 mm au-dessus du sol.



Hauteur nécessaire des protecteurs physiques en cas de danger potentiel faible selon EN ISO 13857

Hauteur a de la zone dangereuse (mm)	Distance horizontale C jusqu'à la zone dangereuse (mm)								
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2000	1100	900	700	600	500	350	0	0	0
1800	1100	1000	900	900	600	0	0	0	0
1600	1300	1000	900	900	500	0	0	0	0
1400	1300	1000	900	800	100	0	0	0	0
1200	1400	1000	900	500	0	0	0	0	0
1000	1400	1000	900	300	0	0	0	0	0
800	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
	Hauteur b du bord supérieur du champ de protection (mm)								
	1000	**1200**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2500**

Hauteur nécessaire des protecteurs physiques en cas de danger potentiel élevé selon EN ISO 13857

Hauteur a de la zone dangereuse (mm)	Distance horizontale C jusqu'à la zone dangereuse (mm)									
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0	0	0	0
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0	0	0	0
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0	0	0	0
1000	1500	1400	1000	800	0	0	0	0	0	0
800	1500	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1400	1300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1400	1200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	500	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hauteur b du bord supérieur du champ de protection (mm)									
	1000	**1200**	**1400**	**1600**	**1800**	**2000**	**2200**	**2400**	**2500**	**2700**

Procédez comme suit pour déterminer la hauteur nécessaire de l'angle supérieur de l'équipement de protection pour cette distance de sécurité :

1. Calculez la hauteur de la zone dangereuse **a** et cherchez-la dans la colonne de gauche du tableau, par ex. 1000 mm
2. Sur la ligne correspondante, notez la première colonne indiquant une distance horizontale **C** inférieure à la distance de sécurité calculée, par ex. « 0 ».
3. Dans la ligne inférieure du tableau, lisez la hauteur **b** résultante du bord supérieur du champ de protection, par ex. 1800 mm.

Exemple avec danger potentiel élevé

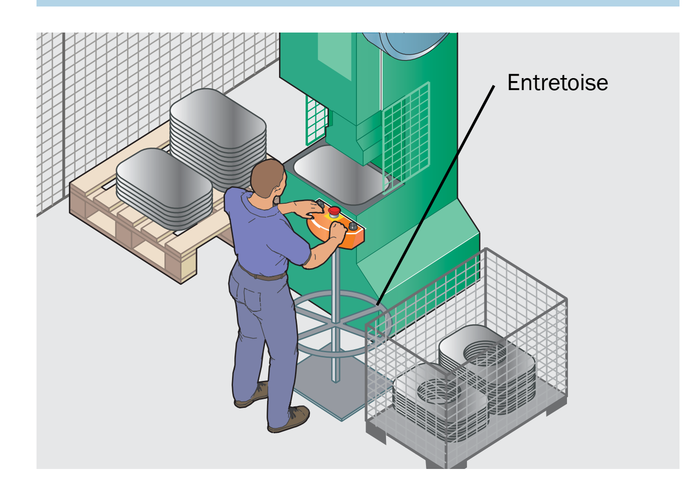
Le protecteur doit commencer à 200 mm du sol et aller jusqu'à 1800 mm. Si le bord supérieur de l'équipement de protection doit se trouver à 1600 mm de haut, la distance de sécurité doit être au minimum de 800 mm.

→ Distances de sécurité et hauteur de champ de protection nécessaire : EN ISO 13857

Distance minimale des dispositifs de protection fixes

Exemple : distance minimale d'une commande bimanuelle

$$S = (K \times T) + C$$



Avec :

- **S** la distance minimale en millimètres, mesurée depuis l'organe de commande jusqu'au point dangereux le plus proche.
- **K** un paramètre en millimètres par seconde, dérivé des données de vitesse d'approche du corps ou des parties du corps, en général défini à 1600 mm/s.
- **T** le temps d'arrêt du système entier mesuré en secondes à partir du relâchement de l'organe de commande.
- **C** un facteur de supplément : 250 mm. Peut être ignoré dans certaines conditions (par ex. avec un recouvrement adapté de l'organe de commande).

Lorsque la commande bimanuelle est placée sur des supports déplaçables, le respect de la distance de sécurité nécessaire doit être assuré par des entretoises ou une longueur limitée des câbles (pour empêcher l'opérateur de l'emporter à un emplacement non autorisé).

→ Calcul de la distance minimale : EN ISO 13855 (norme B)

Réarmement et redémarrage

Lorsqu'une fonction d'arrêt de sécurité a été déclenchée par un dispositif de protection, l'arrêt doit être maintenu jusqu'à ce qu'un dispositif manuel de réarmement (reset) soit actionné et que l'état sûr nécessaire pour le redémarrage soit assuré (restart). Une exception à ce principe est l'utilisation de dispositifs de protection qui permettent une détection permanente des personnes exposées dans la zone dangereuse (par ex. protection anti-enfermement).

La fonction de réarmement manuel doit être assurée par un dispositif séparé, à actionner manuellement. L'appareil doit être conçu de manière à résister aux sollicitations prévisibles et à ne pouvoir atteindre l'effet prévu que par un actionnement intentionnel (⚠ les écrans tactiles, par exemple, ne conviennent pas). Selon la norme EN ISO 13849-1 (al. 5.2.2), le réarmement ne doit être réalisé qu'en relâchant l'organe de service à partir de sa position active (marche). C'est pourquoi, pour le traitement des signaux, il faut détecter le front descendant du signal du dispositif de commande, c'est-à-dire que l'acquittement ne doit être réalisé qu'en relâchant l'organe de service de sa position de marche (élément activé). Cet acquittement ne doit être possible que si toutes les fonctions de sécurité et tous les équipements de protection sont opérationnels.

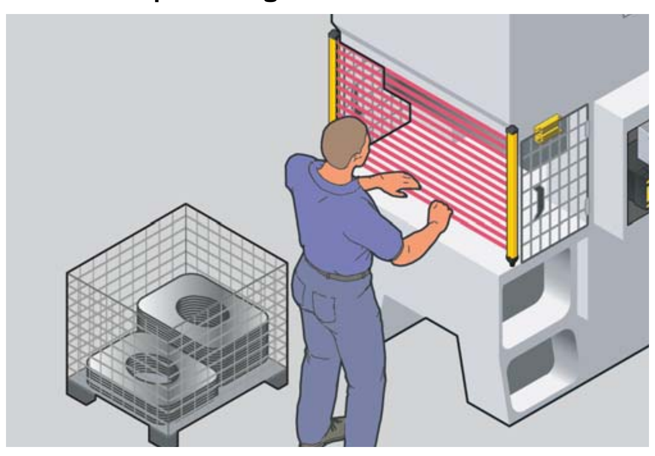
L'élément à actionner pour le réarmement doit se trouver à un emplacement sûr, hors de la zone dangereuse. Depuis cet emplacement, l'ensemble de la zone dangereuse doit être parfaitement visible. Ainsi, on peut s'assurer en toute sécurité que personne ne s'y trouve.

Le signal du dispositif de réarmement fait partie intégrante de la fonction de sécurité et doit donc être...

- soit câblé de manière discrète sur l'unité logique de sécurité,
- soit transmis par un système de bus de sécurité.

Le réarmement ne doit entraîner aucun mouvement ni situation dangereuse. En revanche, le système de commande de la machine peut accepter une commande de démarrage séparée après le réarmement.

Protection de points dangereux sans réarmement



De cette manière, il est impossible de se tenir dans la zone dangereuse sans déclencher le dispositif de protection. Il n'est donc pas nécessaire de recourir à un réarmement séparé (Reset) de cet équipement.

Intégration des équipements de protection dans le système de commande

Outre les aspects mécaniques, un équipement de protection doit également être intégré dans le système de commande.

« Les systèmes de commande sont des modules fonctionnels du système d'information d'une machine et réalisent des fonctions logiques. Ils coordonnent les flux de matériaux et d'énergie dans le domaine d'action de l'outil et du système de fabrication de pièces en fonction du travail à effectuer. […] Les systèmes de commande se différencient en fonction de la technologie utilisée, c'est-à-dire des porteurs d'informations, en commandes fluidiques, électriques et électroniques. »

Extrait de : Alfred Neudörfer, Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer Verlag, Berlin u.a., ISBN 978-3-540-21218-8 (3è édition 2005)

Le terme général de **système de commande** décrit l'ensemble de la chaîne d'un système de commande. Un système de commande se compose d'un élément d'entrée, d'une unité logique, d'un élément de puissance ainsi que d'un élément d'entraînement/actif.

Les éléments de sécurité du système de commande doivent exécuter des fonctions de sécurité. Leur fiabilité et leur résistance aux défaillances sont donc soumises à des exigences particulières. Ils se distinguent par des principes de résistance aux défaillances et de prévention des défaillances.

Commande			**Aspects de sécurité**	
Principe d'action de la commande		**Éléments typiques**	**Perturbations**	**Explications**
Fluidique	Pneumatique	■ Vannes multivoies ■ Clapets de pure ■ Vannes d'arrêt à main ■ Filtres à séparateur d'eau ■ Flexibles	■ Variations d'énergie ■ Propreté et teneur en eau de l'air comprimé	Réalisée le plus souvent comme commande électropneumatique. Nécessité d'une unité de maintenance pour la préparation de l'air comprimé.
Fluidique	Hydraulique	■ Accumulateur de pression ■ Limiteur de pression ■ Vannes multivoies ■ Filtres ■ Témoin de niveau ■ Témoin de température ■ Flexibles et câbles ■ Raccords vissés	■ Propreté ■ Viscosité ■ Température du liquide sous pression	Réalisée le plus souvent comme commande électrohydraulique. Nécessité de mesures pour limiter la température et la pression dans le système et pour filtrer le fluide.
Électrique	Électromécanique	■ Dispositifs de commande : ◆ interrupteurs de position ◆ sélecteurs ◆ boutons ■ Interfaces : ◆ contacteurs de commande ◆ relais ◆ contacteurs de puissance	■ Classe de protection des appareils ■ Sélection, dimensionnement et disposition des modules et appareils ■ Exécution et pose des câbles	De par leur construction et les positions univoques de commutation, s'ils sont bien choisis les éléments sont insensibles à l'humidité, aux variations de température et aux perturbations électromagnétiques.
Électrique	Électronique	■ Composants isolés, par ex. : ◆ transistors ◆ résistances ◆ condensateurs ◆ bobines ■ Modules intégrés, par ex. circuits intégrés	Comme pour « électromécanique ». En plus : ■ Variations de température ■ Perturbations électromagnétiques couplées via les câbles ou les champs	L'exclusion des défaillances n'est pas possible. Le fonctionnement efficace n'est possible que par les conceptions de commande, pas par le choix des composants.
Électrique	Commande à microprocesseur	■ Microprocesseurs ■ Logiciels	■ Erreurs d'installation du matériel ■ Défaillances systématiques, y compris de mode commun ■ Erreurs de programmation ■ Erreurs de manipulation ■ Erreurs d'utilisation ■ Manipulations ■ Virus informatiques	■ Mesures de prévention des défauts : ◆ développement structuré ◆ analyse de programme ◆ simulation ■ Mesures de maîtrise des défauts : ◆ matériel et logiciel redondants ◆ test RAM/ ROM ◆ test CPU

Extrait de : Alfred Neudörfer, Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer Verlag, Berlin u.a., ISBN 978-3-540-21218-8 (3è édition 2005)

Les éléments d'entrée de sécurité ont été décrits précédemment avec les capteurs de sécurité (équipements de protection). C'est pourquoi seuls les unités logiques et les actionneurs sont traités ci-après.

Pour envisager les actionneurs du point de vue de la sécurité, on se rapporte aux éléments de commande de puissance. Les défauts et défaillances des éléments d'entraînement/actifs sont généralement exclus (un moteur sans énergie passe à un état sans danger).

Les commandes fluidiques sont fréquemment réalisées comme commandes électropneumatiques ou électrohydrauliques. Cela signifie que les signaux électriques sont convertis par des vannes en énergie pour déplacer des vérins et autres actionneurs.

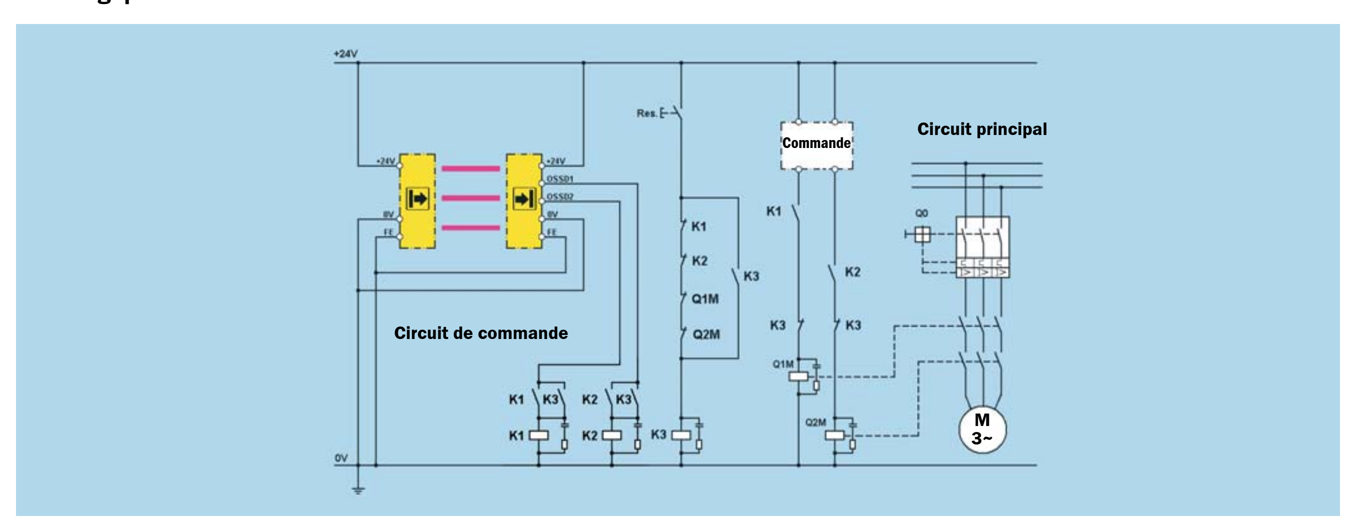
→ Exemples de câblage pour intégration d'équipements de protection sur le site http://www.sick.com/.

Unités logiques

Une unité logique associe différents signaux d'entrées de fonctions d'entrée pour former des signaux de sortie. Pour cela, on peut utiliser des composants électromécaniques, électroniques ou électroniques programmables.

Attention : les signaux des dispositifs de protection ne doivent pas être traités exclusivement par des systèmes de commande standard (API). Des circuits de coupure parallèles doivent être présents.

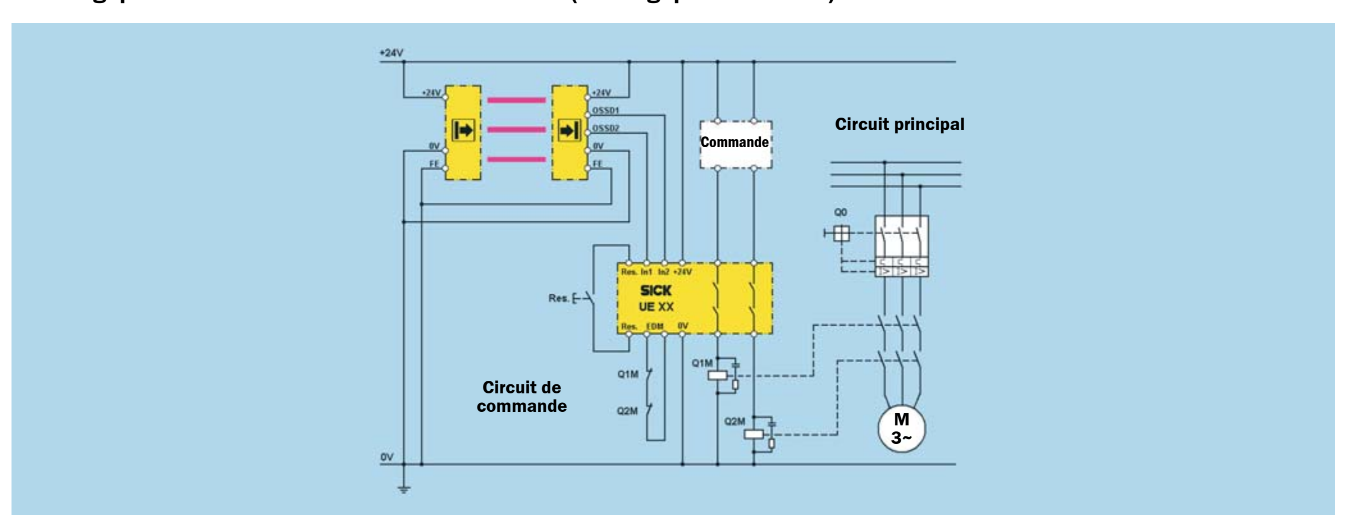
Unité logique avec contacteurs



Des contacteurs auxiliaires simples à contacts guidés permettent de réaliser des commandes avec pratiquement n'importe quel degré de complexité. Ce principe de sécurité se caractérise par la redondance et la surveillance au moyen de contacts à manœuvre positive d'ouverture. L'intégration logique est réalisée par le câblage.

Fonctionnement : Lorsque les contacteurs K1 et K2 sont au repos, le contacteur K3 est activé et se maintient si S1 est actionné. Si aucun objet n'est détecté dans le champ de protection actif, les sorties OSSD1 et OSSD2 passent à l'état haut. Les contacteurs K1 et K2 sont activés via les contacts NO de K3 et se maintiennent. K3 est coupé lorsque le bouton S1 est relâché. C'est seulement à ce moment que les circuits de sortie sont fermés. En cas de détection d'un objet dans le champ de protection actif, les contacteurs K1 et K2 ne sont plus alimentés par les sorties OSSD1 et OSSD2.

Unité logique avec combinaison de relais de sécurité (bloc logique de sécurité)



Les relais de sécurité regroupent dans un seul boîtier une ou plusieurs fonctions de sécurité. Ils incluent en général des fonction d'autosurveillance. Les circuits de coupure peuvent être à contacts ou à semi-conducteurs. Ils peuvent également contenir des contacts d'état.

Cela permet de simplifier la réalisation d'applications de sécurité complexes. En outre, le relais de sécurité certifié réduit les coûts de validation des fonctions de sécurité.

Les relais de sécurité peuvent intégrer des composants à semi-conducteurs qui assurent le travail des éléments de commutation électromécaniques. Grâce à des mesures de détection des défauts telles que le traitement de signaux dynamiques, ou à des mesures de maîtrise des défauts tels que le traitement multivoie des signaux, les solutions purement électroniques peuvent atteindre le degré de fiabilité requis.

Unité logique avec composants logiciels

Progressant de manière similaire à l'automatisation, la sécurité est passée des contacteurs auxiliaires câblés aux relais de sécurité, intégrant parfois des logiques de sécurité paramétrables et configurables, jusqu'aux API de sécurité complexes. Le concept de « composants éprouvés » et de « principes de sécurité éprouvés » doit être transposé aux systèmes électriques et électroniques programmables.

La liaison logique de la fonction de sécurité est alors réalisée par un logiciel.

Au niveau logiciel, on distingue le programme interne (« firmware ») – développé et certifié par le fabricant du système De commande – et l'application de sécurité elle-même. Celle-ci est développée par le fabricant de la machine dans les langages mis à disposition par le firmware.

Paramétrage

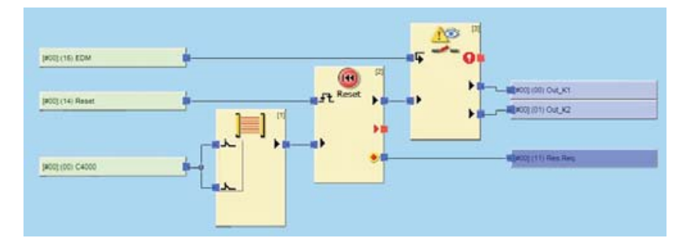
Sélection de caractéristiques parmi un catalogue prédéfini de fonctionnalités au moyen de sélecteurs / paramètres logiciels au moment de la mise en service.

Caractéristiques : niveau logique simple, logique ET/OU

Configuration

Association flexible de blocs de fonction prédéfinis dans une logique certifiée à l'aide d'une interface de programmation, par ex. pour le paramétrage des heures et la configuration des entrées/sorties du système de commande.

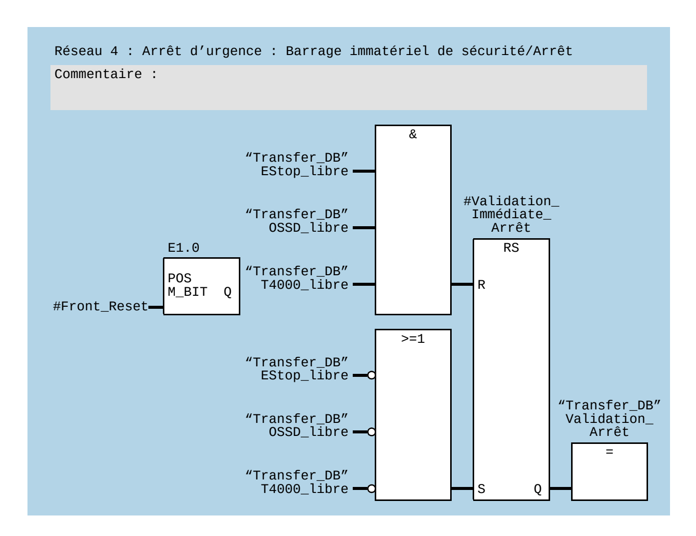
Caractéristiques : niveau logique au choix, logique binaire



Programmation

Organisation libre de la logique avec des fonctions dépendant du langage de programmation prédéfini, le plus souvent en utilisant des blocs de fonction certifiés.

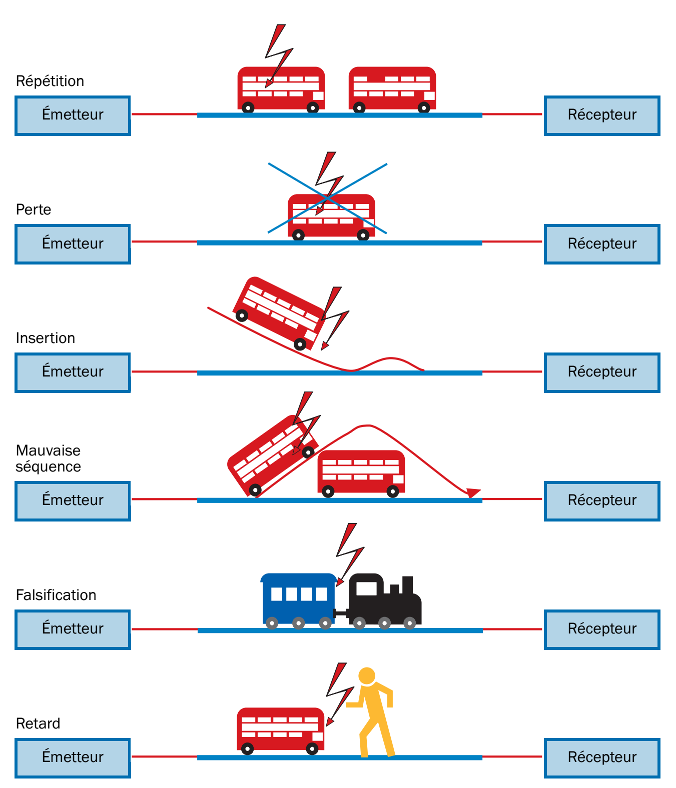
Caractéristiques : niveau logique au choix, traitement par mots



Transmission fiable des données

On utilise des systèmes de bus de terrain pour transmettre les signaux entre le système de commande et les capteurs ou les actionneurs de la machine. D'autre part, les bus de terrain sont chargés de transmettre les informations d'état entre différentes parties des commandes. Un bus de terrain facilite le câblage et réduit ainsi les risques d'erreur. Pour des applications de sécurité, il est intéressant d'utiliser des bus de terrain conçus à cet effet.

Une étude approfondie des différents défauts matériel et logiciels montre que ces défauts se traduisent toujours par les quelques mêmes erreurs de transmission des bus de terrain.



Source : Sicherheitsgerechtes Konstruieren von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Elektrische Ausrüstung und Steuerungen ; BG Druck- und Papierverarbeitung; Ed.06/2004 ; page 79

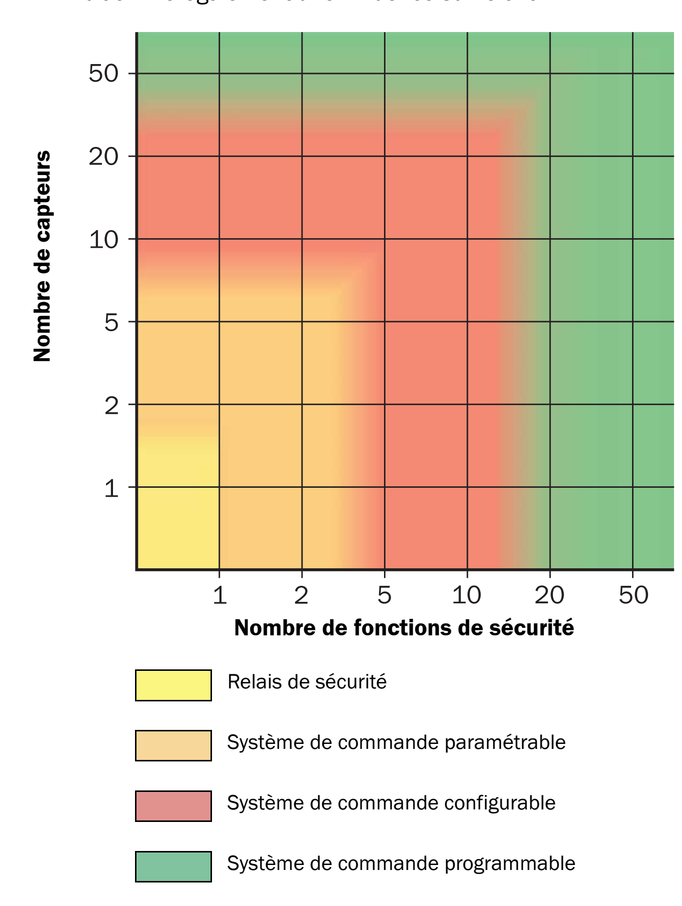
Pour contrer les erreurs de transmission ci-dessus, il existe une multitude de mesures applicables dans le système de commande en amont, par ex. la numérotation continue des télégrammes de sécurité ou l'attente des télégrammes entrants à acquitter. Les extensions de protocole sur la base du bus de terrain utilisé incluent ce type de mesures. Elles s'appliquent, dans le modèle des couches ISO/OSI, au-dessus de la couche de transport et servent ainsi au bus de terrain sans modification avec tous ses composants de « black channel ». Les bus de terrain de sécurité suivants font partie des systèmes les plus répandus :

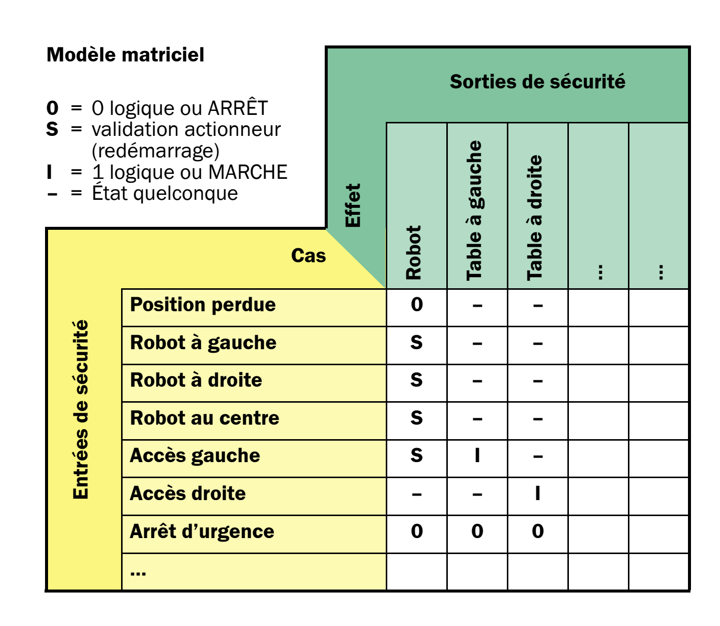
- AS-i Safety at Work
- DeviceNet Safety
- PROFIsafe

3 c

Critères de sélection

Les critères de sélection d’un système de commande sont d’abord le nombre de fonctions de sécurité à réaliser et l’étendue des associations logiques entre les signaux d’entrée. La fonctionnalité de la logique de connexion nécessaire – par ex. ET simple, flip-flop ou fonctions spéciales telles que l’inhibition – a également une influence sur le choix.

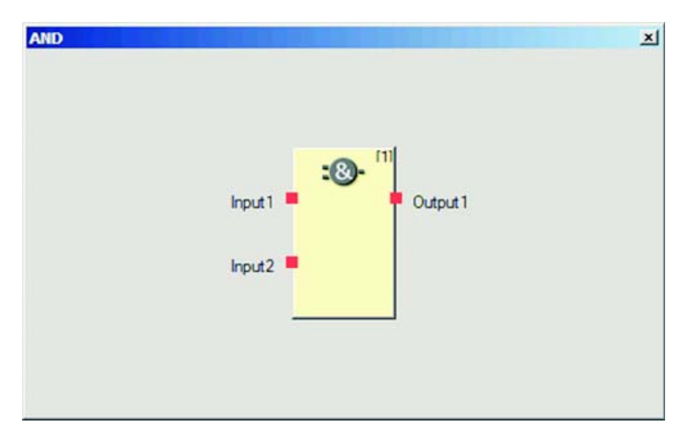


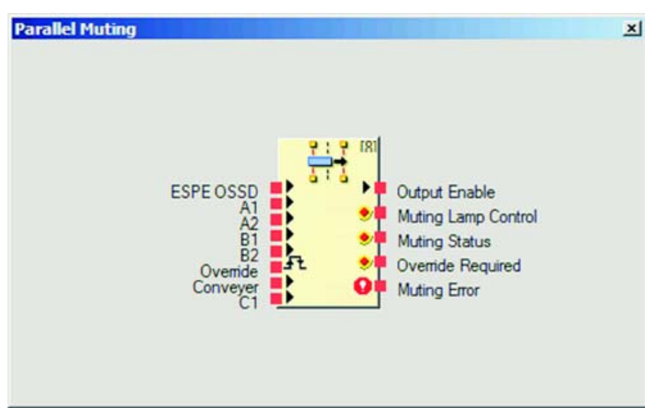


Modèle matriciel

0 = 0 logique ou ARRÊT
S = validation actionneur (redémarrage)
I = 1 logique ou MARCHE
– = État quelconque

Entrées de sécurité – Cas \ Effet – Sorties de sécurité	Robot	Table à gauche	Table à droite	⋮	⋮
Position perdue	0	–	–		
Robot à gauche	S	–	–		
Robot à droite	S	–	–		
Robot au centre	S	–	–		
Accès gauche	S	I	–		
Accès droite	–	–	I		
Arrêt d’urgence	0	0	0		
…					





Spécifications logicielles

Pour éviter l’apparition d’un état dangereux, il faut en particulier développer les unités logiques à base logicielle de manière à éviter avec fiabilité les erreurs de logique. Pour détecter les erreurs systématiques, il faut qu’une autre personne que le développeur assure un contrôle systématiques selon le principe des « deux paires d’yeux valent mieux qu’une ».

La mise en œuvre des fonctions de sécurité dans la solution logicielle doit s’effectuer suivant une spécification. Celle-ci doit être complète, sans contestation, lisible et perfectible.

Le **modèle matriciel** constitue une possibilité de réaliser simplement cette spécification. Des combinaisons données de signaux d’entrées de sécurité sont regroupées en cas distincts (par ex. « position perdue » ou « robot à gauche »). Ces cas doivent agir sur les fonctions de la machine via les sorties de sécurité selon les indications de la fonction de sécurité. SICK utilise également cette méthode simple pour concevoir les logiciels d’application.

Il est utile d’effectuer un examen avec tous les participants du projet.

Si les programmes sont mal documentés et mal structurés, les erreurs apparaissent lors de modifications ultérieures, et il existe en particulier un risque de relations ignorées non prises en compte, qualifiées d’effets secondaires. C’est pourquoi, surtout avec les logiciels développés par des tiers, de bonnes spécifications et une documentation du programme bien rédigée ont une importance particulière pour la prévention des défaillances.

Éléments de commande de puissance

La fonction de sécurité activée par les équipements de protection et l'unité logique doit stopper un mouvement dangereux. Pour cela, on coupe généralement les éléments d'entraînement/actifs au moyen d'éléments de commande de puissance.

→ Principe de l'arrêt / coupure d'énergie : EN ISO 13849-2 (norme B)

Contacteurs

Le type le plus utilisé d'éléments de puissance est le contacteur électromécanique. Avec des critères de sélection, des câblages et des mesures spécifiques, un ou plusieurs contacteurs peuvent représenter un sous-système de la fonction de sécurité. En protégeant les contacts contre les surcharges et les courts-circuits, en les surdimensionnant (généralement d'un facteur 2) et avec d'autres mesures, on peut considérer un contacteur comme un composants éprouvé. Pour pouvoir diagnostiquer les contacteurs aux fins de fonctions de sécurité, il faut un retour univoque de l'état de commutation (EDM), ce qui est possible en utilisant un contacteur à contacts guidés. Les contacts sont dits guidés lorsque un jeu de contacts est lié mécaniquement de telle sorte qu'un contact NO et un contact NF ne puissent jamais être fermés simultanément pendant toute la durée de vie du dispositif.

La notion de « contacts guidés » se rapporte d'abord aux contacteurs et contacts auxiliaires. Un écart défini d'au moins 0,5 mm doit être assuré sur un contact NF, même à l'apparition d'un défaut (contact collé). Comme les contacteurs à puissance de commutation réduite (<4 kW) ne présentent pas de grande différence entre les éléments de commutation principaux et auxiliaires, on peut également parler de « contacts guidés » dans ce cas.

Pour les contacteurs de puissance plus importants, on utilise des contacts dits « miroirs » : tant que l'un des contacts principaux d'un contacteur est fermé, aucun contact miroir (contact auxiliaire NF) ne peut être fermé. Une application typique des contacts miroirs est la surveillance extrêmement fiable de l'état de commutation d'un contacteur dans le circuit électrique de commande des machines.

Contact NF
Contact NO
≥ 0,5 mm
Source : Moeller AG
≥ 0,5 mm
Contact NF
Contact NO

Système de contacts d'un contacteur à manœuvre positive d'ouverture. Un contact NO est collé

Câblage de protection

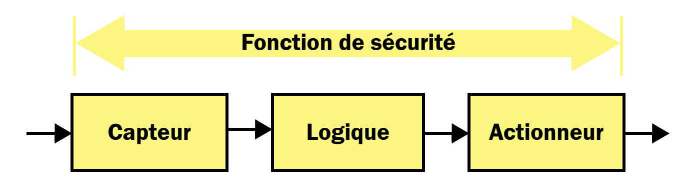
Les dispositifs à inductance, comme les bobines de vannes ou de contacteurs, doivent être pourvus de filtres de protection pour limiter les surtensions transitoires à la coupure. Les éléments de commutation sont alors protégés des surcharges, en particulier les semi-conducteurs très sensibles à la surtension. En règle générale, ces filtres ont une influence sur la temporisation à la retombée et donc sur la distance minimale nécessaire de l'équipement de protection (→ 3-32). Par exemple, une simple diode de pare-étincelle peut entraîner une multiplication par 14 du temps de coupure.

Filtre de protection (par inductance)	Diode	Combinaison de diodes	Varistor	Circuit RC
			U	
Protection contre la surtension	très haute	haute	limitée	haute[1)]
Temporisation à la retombée	très longue (important pour la sécurité)	courte (mais à prendre en compte)	très courte (sans incidence pour la sécurité)	très courte[1)] (sans incidence pour la sécurité)

1) Il faut adapter précisément l'élément à l'inductance !

Entraînements

Lors de l'étude des fonctions de sécurité, les entraînements constituent un élément de fonction central, puisqu'ils présentent notamment un risque de mouvement involontaire. La fonction de sécurité s'étend du capteur à l'actionneur (cf. illustration).

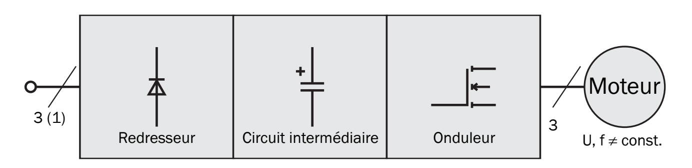


Selon la réalisation technique et la fonction de sécurité, l'actionneur peut comprendre plusieurs composants (contacteur, variateur, feedback). Les systèmes de freinage et d'arrêt sont également à prendre en compte pour les axes soumis à la gravité. Le moteur en lui-même n'est pas pris en considération.

Servovariateurs et convertisseurs de fréquence

Dans le domaine des entraînements, les moteurs triphasés à convertisseur de fréquence ont largement remplacé les moteurs à courant continu. Le convertisseur génère à partir du réseau à courant continu fixe une tension de sortie à fréquence et amplitude variables. Selon la version, des redresseurs régulés peuvent réinjecter dans le réseau l'énergie accumulée dans le circuit intermédiaire lors du freinage.

Le redresseur convertit l'énergie électrique du réseau et l'injecte dans le circuit intermédiaire à courant continu. L'onduleur module la largeur des impulsions par des commutateurs à semi-conducteurs pour générer un champ tournant adéquat dans le moteur et exécuter les fonctions de régulation souhaitées. Les fréquences de commutation habituelles se situent entre 4 kHz et 12 kHz.



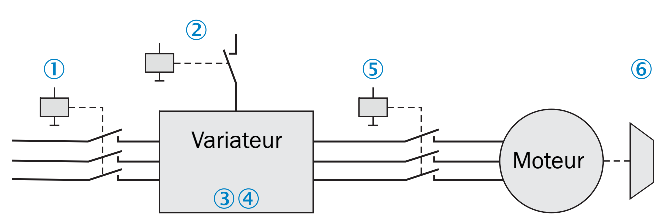
Pour limiter les surtensions transitoires à la commutation des charges dans les circuits à courant continu et alternatif, des composants anti-parasites doivent être utilisés, en particulier en présence de modules électroniques sensibles dans la même armoire électrique.

Check-list

- Le filtre d'entrée réseau est-il intégré au convertisseur de fréquence ?
- Le circuit de sortie du convertisseur est-il pourvu d'un filtre sinusoïdal ?
- Les câbles de liaison sont-ils aussi courts que possible et blindés ?
- Les composants et blindages sont-ils raccordés à la terre/PE avec un contact assez large ?
- La self de commutation destinée à limiter les pics de courant est-elle intercalée ?

Fonctions de sécurité avec servovariateur et convertisseur de fréquence

Pour mettre en œuvre la fonction de sécurité, différents circuits de coupure sont possibles dans le sous-système actionneur :



① Contacteur réseau – peu pratique à cause du temps de redémarrage long et de l'usure élevée due au courant de démarrage
② Déverrouillage du variateur – sans incidence pour la sécurité
③ Blocage d'impulsions « verrouillage de redémarrage de sécurité (arrêt) »
④ Consigne – sans incidence pour la sécurité
⑤ Contacteur moteur – pas autorisé avec tous les convertisseurs
⑥ Frein d'arrêt – généralement pas de frein de service

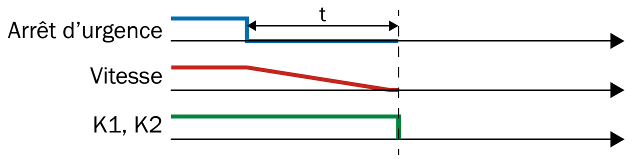
Une fonction de sécurité peut être réalisée de différentes manières avec un variateur :

- par **déconnexion de l'alimentation en énergie**, par ex. au moyen d'un contacteur réseau ① ou d'un contacteur moteur ⑤ ;
- par des **circuits externes** de surveillance, par ex. le monitoring d'un codeur ;
- par des **fonctions partielles de sécurité intégrées** directement dans le variateur (→ 3-47)

Déconnexion de l'alimentation en énergie

Avec les convertisseurs, il faut tenir compte, lors de l'appréciation des risques, de l'énergie stockée dans les capacités du circuit intermédiaire et de l'énergie dégagée par un freinage générateur.

Lors de l'étude de la course résiduelle, il faut supposer que la commande du mouvement ne génère aucune rampe de freinage. Après coupure de l'alimentation, l'entraînement s'arrête plus ou moins rapidement en fonction de la friction (catégorie d'arrêt 0). L'application d'une rampe de freinage par modification de la consigne et/ou libération du variateurprotecteurs puis coupure des contacteurs ou blocage des impulsions (catégorie d'arrêt 1) peut réduire la course de freinage.



Détection de vitesse par circuits externes de surveillance

Pour surveiller l'entraînement, les raccordements externes ont besoin de signaux fournissant des informations sur le mouvement actuel à l'unité de surveillance. Dans ce cas, la source des signaux est constituée de capteurs et de codeurs qui doivent être, selon le niveau PL ou SIL exigé, soit en version de sécurité, soit en configuration redondante.

En alternative, la surveillance d'arrêt peut aussi être réalisée en lisant la tension induite par le moteur en train de s'arrêter. Ce principe fonctionne également pour les entraînements à régulation de vitesse.

3
c

Fonction de sécurité partielles intégrées dans le variateur

Les fonctions de sécurité sont exécutées par les éléments de sécurité des systèmes de commande (SRP/CS). Elles comprennent les fonctions de détection (capteur), de traitement (unité logique) et de commutation ou action (actionneur). Dans ce contexte, les fonctions de sécurité intégrées dans le variateurs sont à considérer comme des fonctions de sécurité partielles.

En général, on les divise en deux groupes :

1. **Fonctions de freinage et d'arrêt de sécurité :** elles servent à assurer l'arrêt de l'entraînement en toute sécurité (arrêt de sécurité) ;
2. **Fonctions de mouvement de sécurité :** elles assurent la surveillance de sécurité de l'entraînement pendant le fonctionnement (par ex. vitesse réduite de sécurité).

En général, la fonction de surveillance de l'entraînement nécessaire dépend de l'application. Des paramètres tels que la course de freinage requise, la présence d'énergie cinétiques, etc. sont déterminants.

La réaction à la coupure varie selon la fonction de sécurité partielle choisie. Par exemple, la fonction d'absence sûre du couple (STO) peut entraîner une poursuite incontrôlée du mouvement en roue libre lors de la commande d'arrêt. En cas d'arrêt de sécurité (SS1 ou SS2), le ralentissement est contrôlé.

Éventuellement, il peut être utile de combiner plusieurs fonctions partielles.

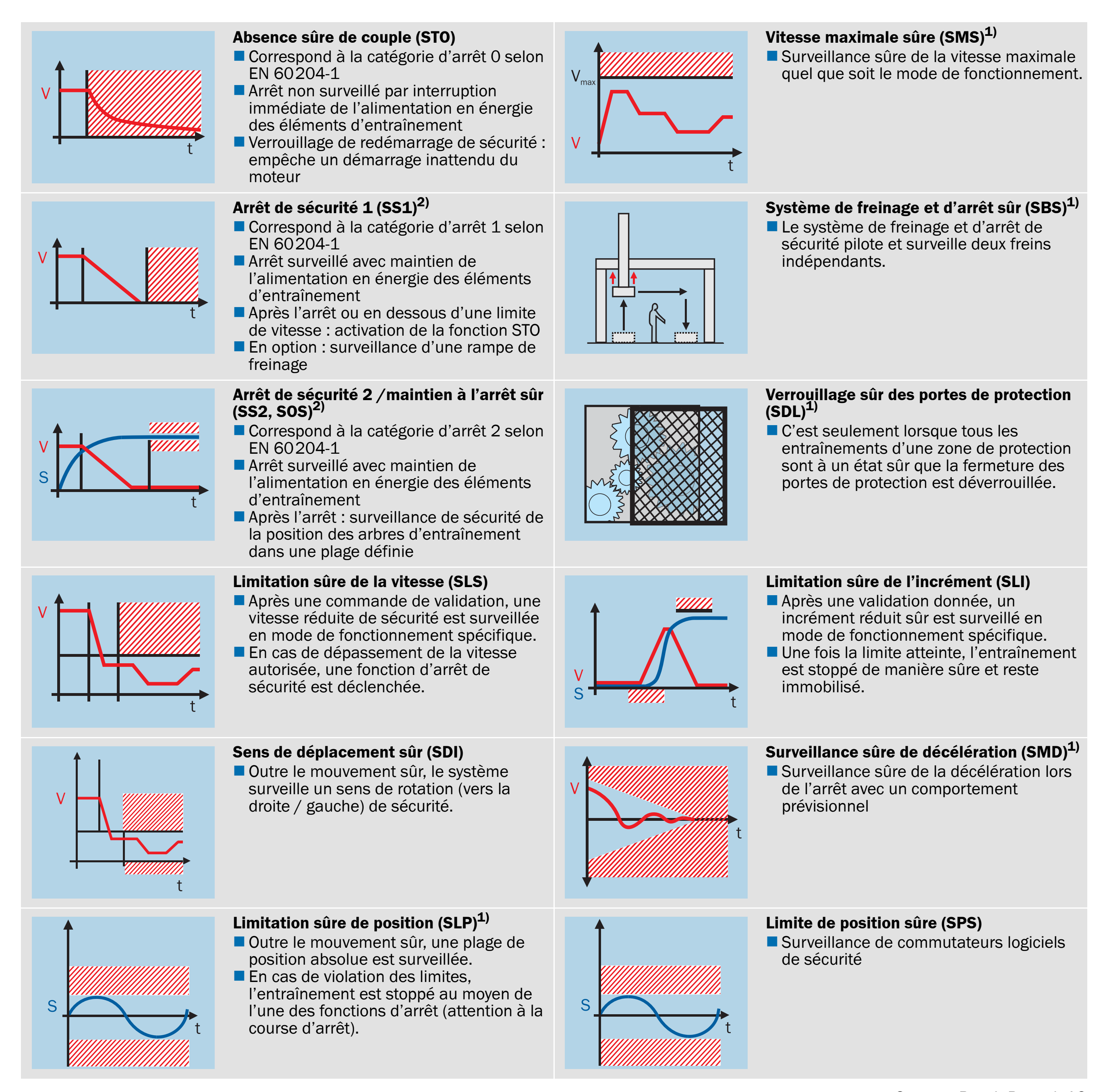
Les interfaces possibles pour le pilotage des fonctions de sécurité partielles intégrées directement dans l'entraînement sont :

- les signaux 24 V discrets
- communication de commande (canal 1) / 24 V discret (canal 2)
- systèmes de communication de sécurité (systèmes de bus de terrain / interface de réseau)

Par communication de commande, on comprend le processus où la commande standard envoie une valeur de consigne de vitesse ou de position à l'entraînement via un bus de terrain ou un réseau non sécurisé.

La majorité des fonctions de sécurité partielles actuellement disponibles pour les entraînements à vitesse variable sont spécifiées dans la norme harmonisée EN 61800-5-2 « Entraînements électriques de puissance à vitesse variable », partie 5-2 « Exigences de sécurité – Fonctionnalité ». Les variateurs conformes à cette norme peuvent être utilisés comme éléments relatifs à la sécurité d'un système de commande selon la norme EN ISO 13849-1 ou EN 62061.

Fonctions de sécurité des entraînements selon EN 61800-5-2



Absence sûre de couple (STO)
- Correspond à la catégorie d'arrêt 0 selon EN 60204-1
- Arrêt non surveillé par interruption immédiate de l'alimentation en énergie des éléments d'entraînement
- Verrouillage de redémarrage de sécurité : empêche un démarrage inattendu du moteur

Vitesse maximale sûre (SMS)[1)]
- Surveillance sûre de la vitesse maximale quel que soit le mode de fonctionnement.

Arrêt de sécurité 1 (SS1)[2)]
- Correspond à la catégorie d'arrêt 1 selon EN 60204-1
- Arrêt surveillé avec maintien de l'alimentation en énergie des éléments d'entraînement
- Après l'arrêt ou en dessous d'une limite de vitesse : activation de la fonction STO
- En option : surveillance d'une rampe de freinage

Système de freinage et d'arrêt sûr (SBS)[1)]
- Le système de freinage et d'arrêt de sécurité pilote et surveille deux freins indépendants.

Arrêt de sécurité 2 / maintien à l'arrêt sûr (SS2, SOS)[2)]
- Correspond à la catégorie d'arrêt 2 selon EN 60204-1
- Arrêt surveillé avec maintien de l'alimentation en énergie des éléments d'entraînement
- Après l'arrêt : surveillance de sécurité de la position des arbres d'entraînement dans une plage définie

Verrouillage sûr des portes de protection (SDL)[1)]
- C'est seulement lorsque tous les entraînements d'une zone de protection sont à un état sûr que la fermeture des portes de protection est déverrouillée.

Limitation sûre de la vitesse (SLS)
- Après une commande de validation, une vitesse réduite de sécurité est surveillée en mode de fonctionnement spécifique.
- En cas de dépassement de la vitesse autorisée, une fonction d'arrêt de sécurité est déclenchée.

Limitation sûre de l'incrément (SLI)
- Après une validation donnée, un incrément réduit sûr est surveillé en mode de fonctionnement spécifique.
- Une fois la limite atteinte, l'entraînement est stoppé de manière sûre et reste immobilisé.

Sens de déplacement sûr (SDI)
- Outre le mouvement sûr, le système surveille un sens de rotation (vers la droite / gauche) de sécurité.

Surveillance sûre de décélération (SMD)[1)]
- Surveillance sûre de la décélération lors de l'arrêt avec un comportement prévisionnel

Limitation sûre de position (SLP)[1)]
- Outre le mouvement sûr, une plage de position absolue est surveillée.
- En cas de violation des limites, l'entraînement est stoppé au moyen de l'une des fonctions d'arrêt (attention à la course d'arrêt).

Limite de position sûre (SPS)
- Surveillance de commutateurs logiciels de sécurité

Source : Bosch Rexroth AG

1) Non défini dans la norme EN 61800-5-2
2) Freinage non sécurisé : si aucune rampe de freinage n'a été définie, une accélération du moteur pendant la temporisation n'est pas détectée.

→ Sécurité fonctionnelle des entraînements de puissance EN 61 800-5-2 (norme B)

Commandes fluidiques

Vannes / vérins

Toutes les vannes nécessitent un guidage cylindrique des composants mobiles. Les principales causes de défaillance des vannes sont :

- défaillance d'un ressort de rappel
- impuretés du fluide

L'utilisation d'un « ressort de sécurité éprouvé » doit être prévue dans le cadre d'un principe de sécurité éprouvé.

Une caractéristique distinctive importante des vannes est la réalisation du corps mobile à l'intérieur de la vanne.

Les distributeurs à clapets se ferment en entrant en contact avec le siège dans le boîtier et s'arrêtent en position fixe. Avec des surfaces meulées, on peut obtenir une fermeture parfaitement étanche de la voie de passage.

Dans les vannes à piston, le corps de vanne ferme ou libère la voie de passage en passant devant un orifice / une rainure de débit. Les bords de fermeture, qui déterminent le recouvrement lors du passage d'une position de commutation à l'autre, sont appelés bords de commande. L'écart entre le piston et l'alésage du boîtier nécessaire au fonctionnement entraîne une fuite du côté haute pression vers le côté basse pression.

Principes de conception de sécurité

Pour l'utilisation de vannes dans les applications de sécurité, un signal de retour de la position de la vanne peut être nécessaire. Pour cela, on peut employer différents procédés :

- interrupteurs Reed actionnés par un aimant inséré dans le corps mobile de la vanne ;
- détecteurs de proximité inductifs actionnés directement par le corps mobile de la vanne ;
- détection analogique de course du corps mobile de la vanne ;
- mesure de pression en aval de la vanne.

Pour les vannes électromagnétiques, comme avec un contacteur il est nécessaire de disposer d'un câblage de protection.



Système de filtre

La grande majorité des défaillances de commandes fluidiques est due à des perturbations liées à l'encrassement du fluide utilisé. Les deux principales causes sont :

- intrusion d'impuretés lors du montage = encrassement au montage (par ex. copeaux, sable de moules, fibres de chiffon, salissures du sol)
- intrusion d'impuretés pendant le fonctionnement = encrassement à l'exploitation (par ex. saleté ambiante, usure des composants)

Ces impuretés doivent être réduites à un niveau acceptable au moyen de filtres.

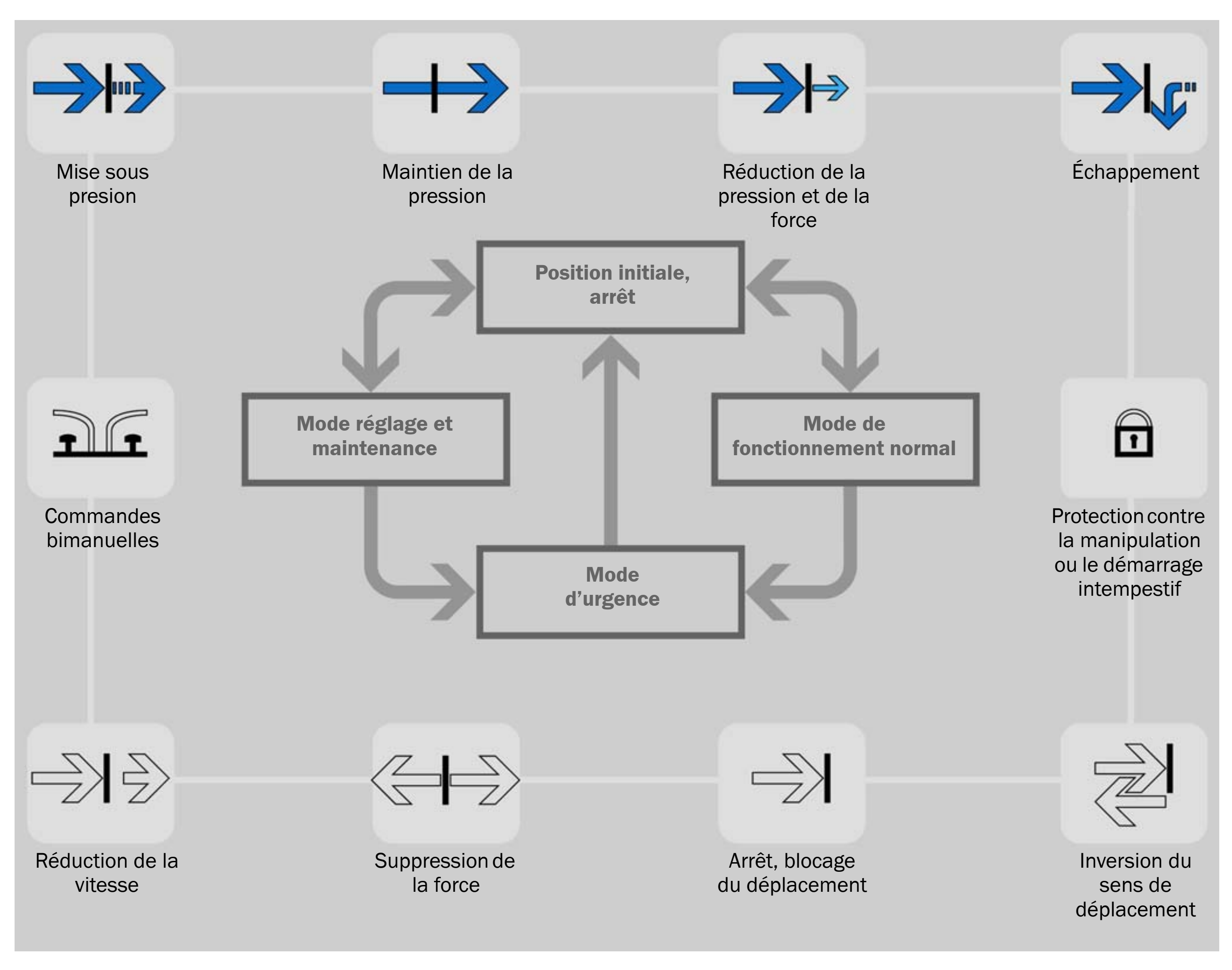
Par système de filtre, on entend le choix adéquat d'un principe de filtration pour la tâche à réaliser ainsi que la disposition des filtres à un emplacement pertinent. Le système de filtre doit être conçu de manière à être en mesure de retenir toute impureté entrant dans le système entier afin de maintenir la pureté nécessaire du fluide pendant toute la durée d'exploitation.

→ Principes de sécurité éprouvés : EN ISO 13849-2 (norme B)
→ Exigences de sécurité relatives aux installations hydrauliques / pneumatiques : EN 982, EN 983
→ Processus de vieillissement des vannes hydrauliques : Rapport BIA 6/2004

Systèmes pneumatiques de sécurité

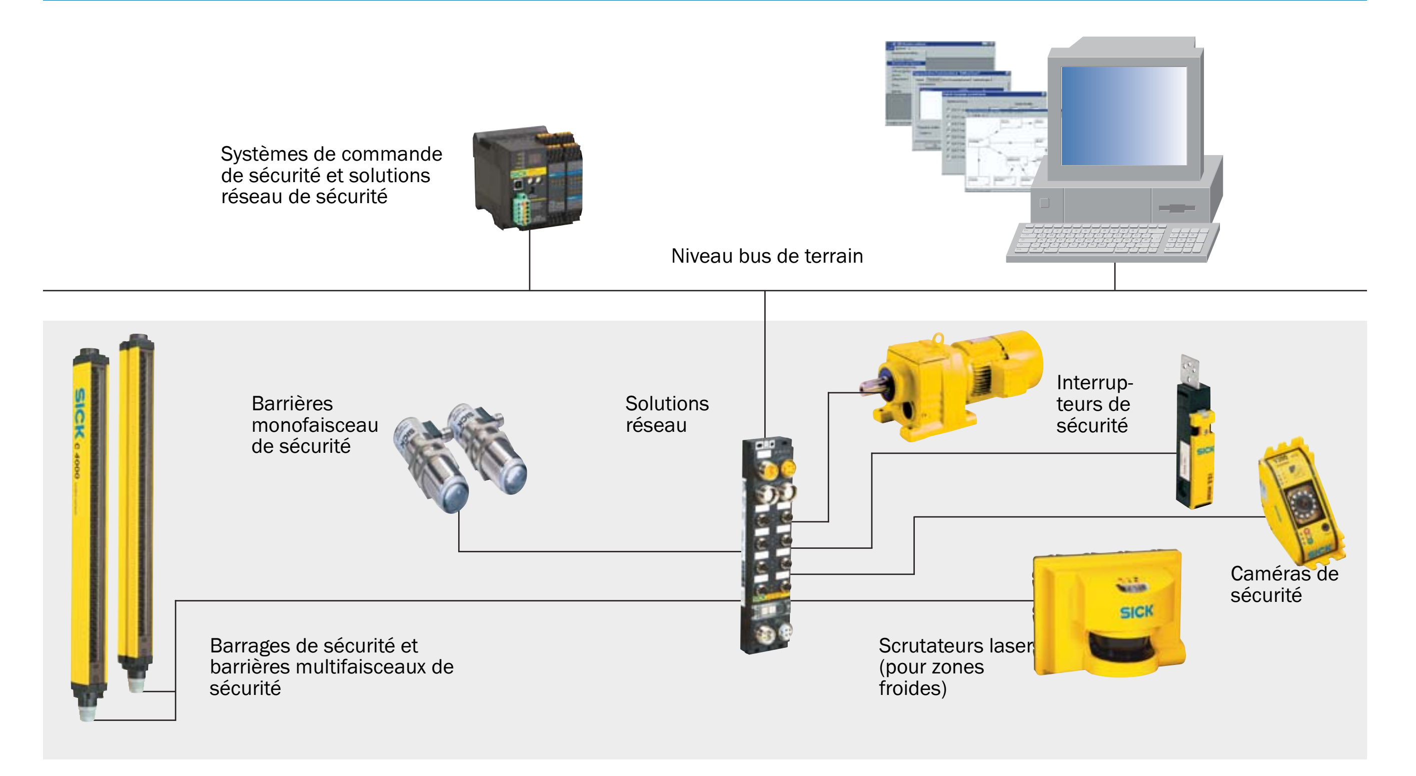
Les systèmes de commande électropneumatiques réalisent des fonctions de sécurité comme suit : les signaux électriques envoyés par une unité logique agissent sur les éléments moteurs ou actifs via une combinaison de plusieurs vannes jouant le rôle d'éléments de puissance. Les fonctions de sécurité typiques sont affectées aux modes de fonctionnement d'une machine comme fonctions de sécurité partielles.

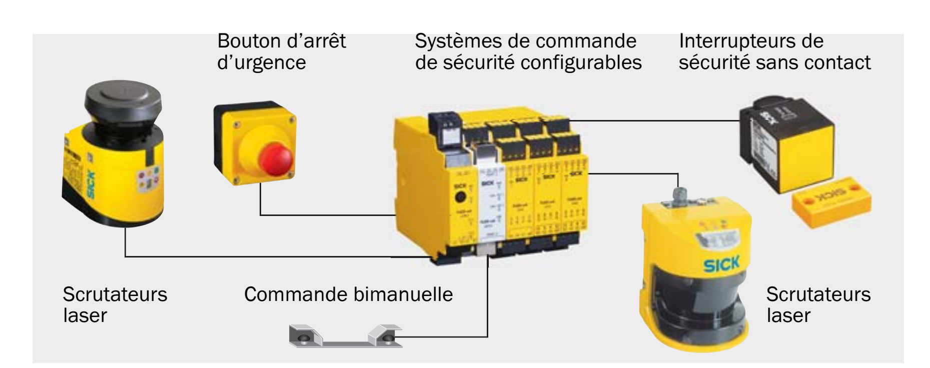
La commande bimanuelle constitue un cas particulier, puisqu'elle peut être mise en œuvre de manière purement pneumatique via un bloc bimanuelle.



➔ Action pneumatique directe sur le mouvement
⇨ Action pneumatique indirecte sur le mouvement
Source : Festo AG & Co. KG – Leitfaden Sicherheitstechnik (p 30 - version anglaise : Safety engineering guidelines)

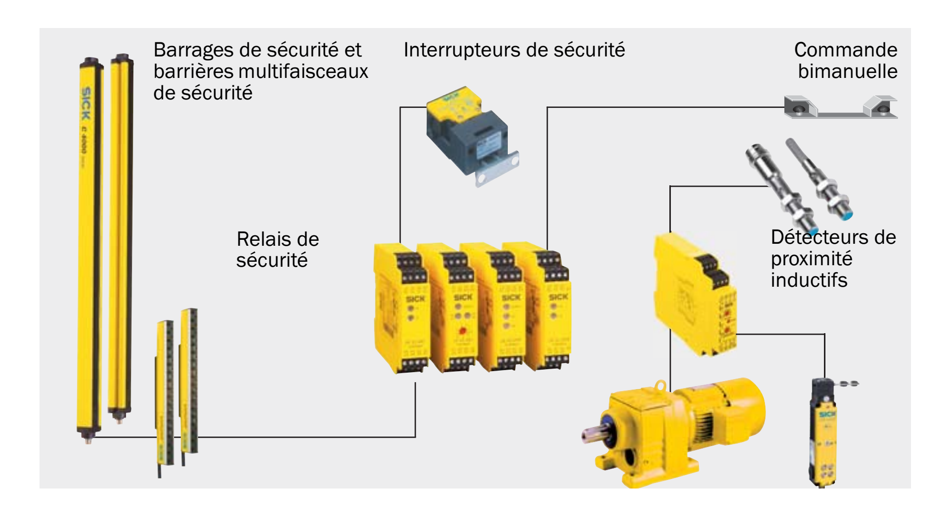
Présentation de la gamme Sécurité







Logiciel de configuration et diagnostic





Conception de la sécurité des machines et des installations : étude, appréciation des risques et documentation en toute sécurité



Nouveautés et informations sur la sécurité des machines : http://www.sick-safetyplus.com/

→ Vous trouverez l'ensemble des produits SICK en ligne sur le site http://www.sick.com/.

Résumé : Concevoir la fonction de sécurité

Généralités

- Élaborer une stratégie de sécurité. Vous devez tenir compte des caractéristiques de la machine, de l'environnement, des facteurs humains, des caractéristiques de conception et de celles des équipements de protection.
- Développer les fonctions de sécurité avec le niveau de sécurité requis. Les fonctions de sécurité sont en général constituées de trois sous-systèmes : capteur, logique et actionneur.
- Le niveau de sécurité de chaque sous-système est défini en fonction des paramètres relatifs à la sécurité suivants : architecture, fiabilité, diagnostic, résistance et processus.

Caractéristiques et applications des équipements de protection

- Déterminer les caractéristiques nécessaires pour votre équipement de protection. Par exemple, avez-vous besoin d'un ou plusieurs équipements de protection électro-sensibles (ESPE), de protecteurs, fixes ou mobiles ?
- Déterminer le positionnement et les dimensions correctes de chaque équipement de protection, en particulier la distance de sécurité ou la distance minimale et la taille/hauteur nécessaire du champ de protection.
- Intégrer les équipements de protection comme indiqué dans la notice d'utilisation et selon les obligations du niveau de sécurité.

Unités logiques

- Choisir l'unité logique adéquate en fonction du nombre de fonctions de sécurité et du niveau logique.
- Utiliser des blocs de fonction certifiés et maintenir la lisibilité de votre concept.
- Faire contrôler en détail le projet et sa documentation (principe des 2 paires d'yeux).

Étape 3d : Vérifier la fonction de sécurité

Lors de la vérification, l'analyse et/ou le contrôle établit que la fonction de sécurité répond aux objectifs et exigences des spécifications à tous points de vue.

La vérification comprend pour l'essentiel deux étapes :
- vérification de la sécurité mécanique
- vérification de la sécurité fonctionnelle

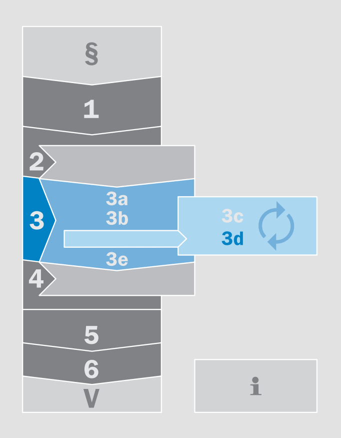
Vérification de la conception mécanique de l'équipement de protection

Les équipements de protection mécaniques doivent être contrôlés pour vérifier s'ils répondent aux exigences en matière de séparation ou de distance par rapport au point dangereux et en matière de retenue des pièces éjectées ou des rayonnements. Une importance particulière doit être accordée au respect des exigences ergonomiques.

Séparation et/ou maintien à distance
- distance de sécurité et dimensionnement suffisants (contournement par le haut, par le bas, etc.) ;
- pour les barrières et grillages, largeur des mailles ou écartement des barreaux adaptés ;
- solidité suffisante et fixation adaptée ;
- choix des matériaux ;
- conception sûre ;
- résistance au vieillissement ;
- conception interdisant d'escalader l'équipement de protection ;

Retenue des pièces éjectées et/ou des rayonnements
- solidité suffisante, résistance aux chocs, à la rupture (capacité de rétention) ;
- capacité de rétention suffisante pour le type de rayonnement concerné, en particulier pour les dangers thermiques (chaleur, froid) ;
- pour les barrières et grillages, largeur des mailles ou écartement des barreaux adaptés ;
- solidité suffisante et fixation adaptée ;
- choix des matériaux ;
- conception sûre ;
- résistance au vieillissement ;

Exigences ergonomiques
- visibilité ou transparence (surveillance du fonctionnement de la machine) ;
- conception, couleur, esthétique ;
- manipulation (poids, prise en main, etc.).



Dans ce chapitre ...	Page

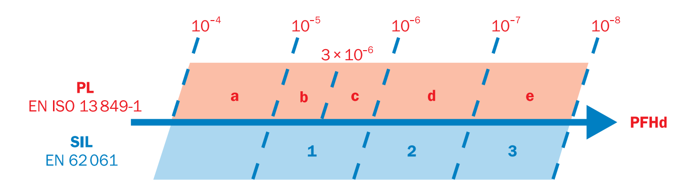
On peut vérifier l'efficacité d'un équipement de protection au moyen d'une check-list :

Exemple : check-list à l'attention du fabricant/ intégrateur pour l'installation d'équipements de protection (par ex. un ESPE)		
1. L'accès à la zone/au point dangereux est-il correctement empêché, est-il seulement possible via des zones protégées (ESPE / portes de protection à verrouillage) ?	Oui ☐	Non ☐
2. En cas de protection de zone/point dangereux, des mesures ont-elles été prises pour empêcher ou surveiller une présence dans la zone dangereuse (protection mécanique anti-enfermement), ces mesures sont-elles protégées contre leur suppression ?	Oui ☐	Non ☐
3. Le temps d'arrêt de la machine a-t-il été mesuré, est-il indiqué et documenté (sur la machine et/ou dans la documentation) ?	Oui ☐	Non ☐
4. La distance minimale/de sécurité nécessaire de l'équipement de protection par rapport au point dangereux le plus proche est-elle respectée ?	Oui ☐	Non ☐
5. Le contournement par le haut/le bas/les côtés de l'équipement de protection est-il effectivement impossible ?	Oui ☐	Non ☐
6. Les appareils/interrupteurs de sécurité sont-ils correctement fixés et le montage interdit-il toute modification après réglage ?	Oui ☐	Non ☐
7. Les mesures de protection nécessaires contre les chocs électriques sont-elles efficaces (classe de protection) ?	Oui ☐	Non ☐
8. Le dispositif de réarmement de l'équipement de protection/de redémarrage de la machine est-il présent et correctement installé ?	Oui ☐	Non ☐
9. Les composants utilisés pour les équipements de protection sont-ils intégrés conformément aux indications des fabricants ?	Oui ☐	Non ☐
10. Les fonctions de protection prévues sont-elles effectives pour chacune des positions du sélecteur de mode de fonctionnement ?	Oui ☐	Non ☐
11. L'équipement de protection est-il actif pendant la totalité de la durée de la situation dangereuse ?	Oui ☐	Non ☐
12. Si les équipements de protection sont arrêtés/débranchés, si le mode de fonctionnement est modifié ou si la protection est basculée sur un autre équipement, une situation dangereuse ainsi potentiellement induite cesse-t-elle immédiatement ?	Oui ☐	Non ☐
13. Les conseils d'utilisation accompagnant l'équipement de protection sont-ils clairement visibles pour les opérateurs ?	Oui ☐	Non ☐

Vérification de la sécurité fonctionnelle

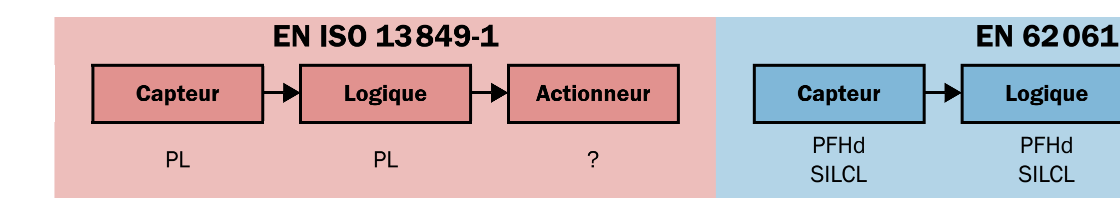
D'après les normes concernant la sécurité fonctionnelle, il faut vérifier si le niveau de sécurité **requis** correspond au niveau de sécurité **réel**. Pour cela, on dispose de deux méthodes :

- calculer le niveau de performance (PL) atteint selon la norme EN ISO 13849-1 ;
- calculer le niveau d'intégrité (SIL) atteint selon EN 62061.



Les deux méthodes vérifient si le risque résiduel est acceptable. La valeur quantitative utilisée est la valeur PFHd-.
Dans les deux exemples ci-après (→ 3-61 et → 3-66) les données du capteur et de la logique sont disponibles, mais pas celles de l'actionneur.

- Niveau PL : capacité des éléments de sécurité à exécuter une fonction de sécurité dans des conditions prévisibles afin de réduire les risques comme prévu
- PFHd : probabilité de défaillance dangereuse par heure
- SILCL : limite de revendication SIL (aptitude). Niveau discret déterminant l'intégrité de la fonction de sécurité



Calculer le niveau de performance (PL) atteint selon la norme EN ISO 13849-1

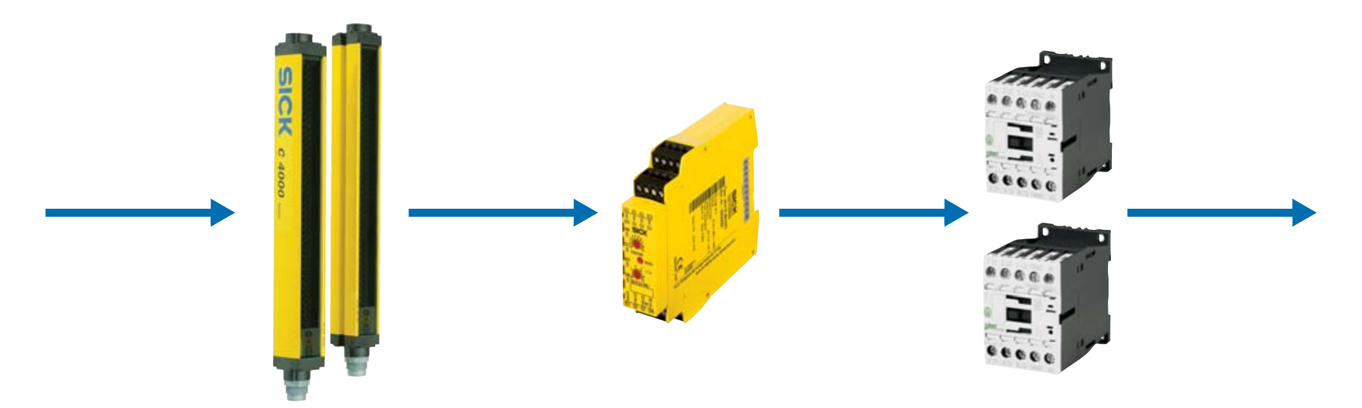
La norme EN ISO 13849-1 prévoit deux méthodes pour déterminer le PL :

- **Procédure simplifiée** (→ 3-56) :
  Tableau de détermination du PL en fonction du PL des sous-systèmes
- **Procédure détaillée** (→ 3-56) :
  Calcul du PL à partir des valeurs PFHd des sous-systèmes (Cette procédure n'est décrite qu'indirectement dans la norme).

La procédure détaillée permet souvent d'obtenir un PL plus réaliste que la procédure simplifiée. Dans les deux procédures, il faut en outre tenir compte des aspects structurels et systématiques relatifs à l'obtention du PL.

Sous-systèmes

Une fonction de sécurité réalisée à l'aide de mesures techniques de commande se compose généralement d'un capteur, d'une logique et d'un actionneur. Cette chaîne peut contenir d'une part des éléments discrets tels que les verrouillages de porte de protection ou des vannes, d'autre part des commandes de sécurité plus complexes. C'est pourquoi il est généralement nécessaire de diviser une fonction de sécurité en sous-systèmes.



Dans la pratique, des fonctions de sécurité données utilisent des sous-systèmes certifiés qui ont déjà fait leurs preuves. Ces sous-systèmes peuvent être par ex. des barrages immatériels ou des systèmes de commande/relais de sécurité dont les valeurs PL ou PFHd des composants sont « précalculées » par les fabricants. Ces valeurs ne s'appliquent que dans la limite d'une durée d'utilisation indiquée par le fabricant (TM, temps de mission). Outre les aspects quantifiables, les mesures prises contre les défaillances systématiques doivent également être vérifiées.

→ Autres informations sur la validation : EN ISO 13849-2
→ Vous trouverez un grand nombre d'informations sur la vérification avec la norme EN ISO 13849--1 sur le site www.dguv.de/bgia/13849.

Procédure simplifiée

Cette méthode permet, même sans connaître les valeurs PFHd individuelles, d'obtenir une estimation assez exacte du PL global pour de nombreuses applications. Si le PL de tous les sous-systèmes est connu, on peut déterminer le PL global d'une fonction de sécurité à l'aide du tableau ci-après.

Procédure

- Déterminez le PL du/des sous-système(s) ayant le PL le plus faible dans une fonction de sécurité: **PL (low)**
- Déterminez le nombre de sous-systèmes ayant ce PL(low) : **n (low)**

Exemple 1 :

- Tous les sous-systèmes atteignent le PL« e », dont le PL le plus faible PL(low) est« e ».
- Le nombre de sous-systèmes ayant ce PL est 3 (donc ≤ 3). En conclusion, le PL global atteint est « e ».
- Si on ajoute un quatrième sous-système au PL « e », d'après cette procédure le PL global descend à « d ».

Exemple 2 :

- Un sous-système atteint le PL« d », tandis que deux autres ont le PL« c ». Le PL le plus faible PL(low) est donc « c ».
- Le nombre de sous-systèmes ayant ce PL est 2 (donc ≤ 2). En conclusion, le PL global atteint est « c ».

Cette procédure repose sur les valeurs moyennes des différents PL au sein de la plage de valeurs PFHd. L'utilisation de la procédure détaillée (cf. section suivante) donne donc des résultats plus précis.

PL (low) (plus faible PL d'un sous-système)	n (low) (nombre de sous-systèmes ayant ce PL)		PL (PL maximum possible)
a	> 3	→	–
	≤ 3	→	a
b	> 2	→	a
	≤ 2	→	b
c	> 2	→	b
	≤ 2	→	c
d	> 3	→	c
	≤ 3	→	d
e	> 3	→	d
	≤ 3	→	e

→ Si le PL de tous les sous-systèmes n'est pas connu, leur niveau de sécurité peut être déterminé suivant le § « Calcul du niveau de sécurité d'un sous-système selon EN ISO 13849-1 ».

Procédure détaillée

Un critère important – mais pas unique – pour déterminer le PL est la « probabilité de défaillance dangereuse par heure (PFHd) » des composants de sécurité. La valeur PFHd qui en résulte se compose de la somme des valeurs PFHd individuelles.

En outre, le fabricant d'un composant de sécurité peut définir les limites structurelles supplémentaires qui doivent être prises en compte dans l'étude globale.

→ Si la valeur PFHd n'est pas connue pour tous les sous-systèmes, on peut déterminer leur niveau de sécurité. Voir Calcul du niveau de sécurité d'un sous-système selon EN ISO 13849-1 ci-dessous.

Calcul du niveau de sécurité d'un **sous-système** selon EN ISO 13849-1

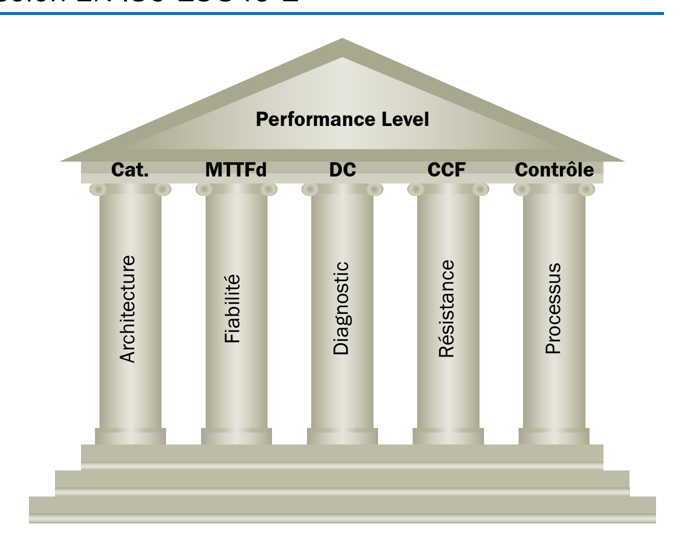
Un sous-système de sécurité peut être constitué d'une multitude de composants, provenant parfois de différents fabricants. Exemples de composants :

- côté entrée, deux interrupteurs de sécurité sur un protecteur ;
- côté sortie, un contacteur et un convertisseur de fréquence pour stopper un mouvement dangereux.

Dans ces deux cas, le PL doit être calculé indépendamment pour ce sous-système.

Le PL atteint par un sous-système se compose des paramètres suivants :

- structure et comportement de la fonction de sécurité dans les conditions de défaut (catégorie, → 3-57)
- valeur MTTFd de chaque composant (→ 3-58)
- degré de couverture du diagnostic (DC, → 3-59)
- défaillance de cause commune (CCF, → 3-59)
- aspects logiciels de sécurité
- défaillances systématiques



3
d

Catégorie des éléments de sécurité des systèmes de commande (EN ISO 13849-1)

Les sous-systèmes sont généralement monocanal ou double canal. Sans mesure supplémentaire, sur les systèmes monocanal l'apparition d'un défaut conduit à un défaillance dangereuse. Des composants supplémentaires de test ou des composants double canal qui se contrôlent mutuellement permettent de détecter les défauts. La classification de la structure s'effectue en catégories définies par la norme EN ISO 13849-1.

Catégorie	Résumé des exigences	Comportement du système	Base principale de la sécurité
B	Les parties des systèmes de commandes relatives à la sécurité et/ou les dispositifs de protection ainsi que leurs pièces constitutives doivent être choisis et/ou réalisés, assemblés et/ou combinés dans le respect des normes applicables de manière à faire face aux influences attendues.	■ L'apparition d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.	Principalement caractérisée par le choix des composants
1	Les exigences de la catégorie B doivent être remplies. Des composants et des principes éprouvés doivent être absolument utilisés.	■ L'apparition d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité, mais la probabilité d'une telle apparition est inférieure à celle de la catégorie B.	
2	Les exigences de la catégorie B ainsi que l'utilisation de principes de sécurité éprouvés sont obligatoires. La fonction de sécurité doit être vérifiée périodiquement en observant le résultat effectif sur la commande de la machine (fréquence de test 100 x supérieure à la fréquence exigée).	■ L'apparition d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité entre deux vérifications. ■ La perte de la fonction de sécurité doit être identifiée par une vérification.	Principalement caractérisée par la structure du système de sécurité
3	Les exigences de la catégorie B ainsi que l'utilisation de principes de sécurité éprouvés sont obligatoires. Les éléments constitutifs du système de sécurité doivent être réalisés de sorte que … ■ l'apparition d'un défaut unique dans chacun de ces éléments ne puisse pas conduire à la perte de la fonction de sécurité et ■ dans le cas où il est possible de détecter le défaut, celui-ci soit effectivement reconnu.	■ Lors de l'apparition d'un défaut unique, la fonction de sécurité est toujours conservée. ■ Les défauts principaux sont reconnus. ■ L'apparition d'un défaut non reconnu peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.	
4	Les exigences de la catégorie B ainsi que l'utilisation de principes de sécurité éprouvés sont obligatoires. Les éléments constitutifs du système de sécurité doivent être réalisés de sorte que : ■ l'apparition d'un défaut unique dans chacun de ces éléments ne puisse pas conduire à la perte de la fonction de sécurité **et** ■ le défaut soit détecté avant ou au moment de la sollicitation de la fonction de sécurité **ou** ■ si cela n'est pas possible, l'accumulation de plusieurs défauts ne conduise pas à la perte de la fonction de sécurité.	■ Lorsque des défauts se produisent, la fonction de sécurité est toujours conservée. ■ Les défauts sont reconnus à temps afin de prévenir la perte de la fonction de sécurité.	

Temps moyen avant défaillance dangereuse (MTTFd)

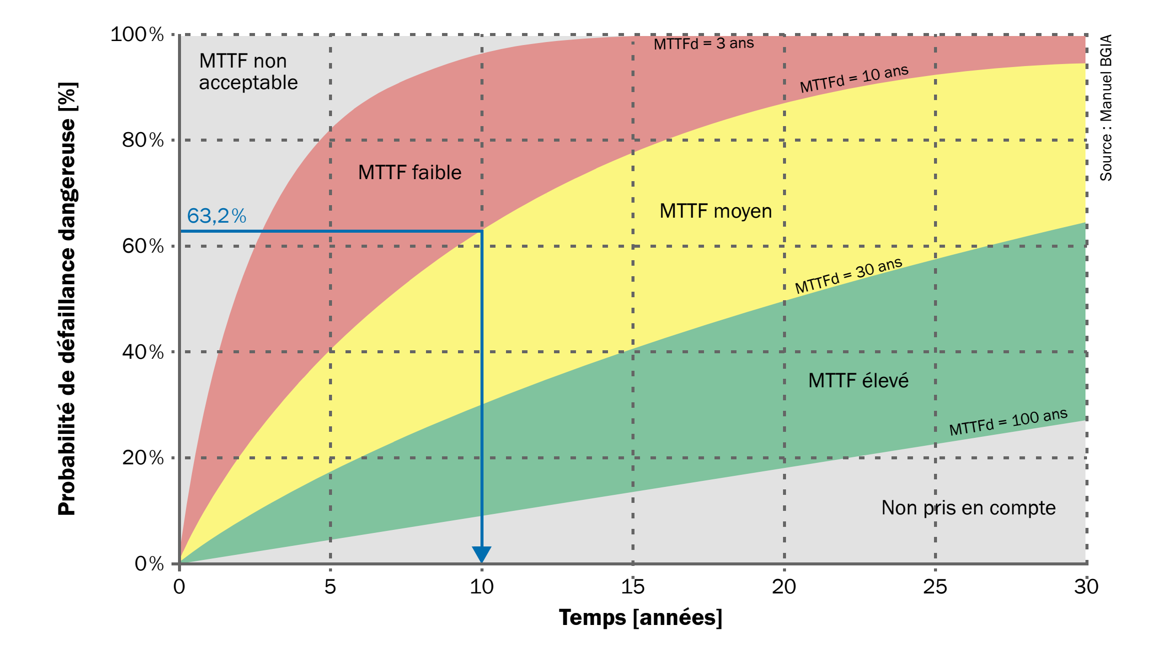
MTTF est l'abréviation de l'anglais Mean Time To Failure et signifie Temps moyen avant défaillance. Pour l'étude selon la norme EN ISO 13849--1, seules les défaillances dangereuses sont à prendre en compte (d'où le « d » pour « dangerous »).
Cette valeur exprime une grandeur théorique qui indique quelle est la probabilité qu'une défaillance dangereuse d'un composant (pas du sous-système complet) se produise pendant la durée de vie des composants. La durée de vie réelle du sous-système est toujours plus courte.
La valeur MTTF se déduit des taux de défaillance. Les taux de défaillance sont :

- les valeurs B_{10} pour les composants électromécaniques ou pneumatiques. La durée de vie dépend ici de la fréquence de commutation. La valeur B_{10} indique le nombre de cycles de commutation avant que 10 % des composants subissent une défaillance.
- La valeur B_{10d} indique le nombre de cycles de commutation avant que 10 % des composants subissent une défaillance dangereuse. Si la valeur B_{10d} n'est pas indiquée, on peut appliquer arbitrairement une valeur $B_{10d} = 2 \times B_{10}$.
- Pour les composants électroniques : taux de défaillance lambdaλ. Le taux de défaillance est fréquemment exprimé en FIT (Failures in Time), où un FIT représente une panne toutes les 10^9 heures.

La norme EN ISO 13849-1 regroupe les valeurs MTTFd en plusieurs plages :

Désignation	Plage de valeurs
Faible	3 ans ≤ MTTFd < 10 ans
Moyen	10 ans ≤ MTTFd < 30 ans
Élevé	30 ans ≤ MTTFd < 100 ans

Les données des composants permettent de calculer la durée moyenne de fonctionnement jusqu'à une défaillance dangereuse (MTTFd) en années.
Pour ne pas surestimer l'influence de la fiabilité, la valeur MTTFd maximale utilisable a été limitée à 100 ans.



Couverture du diagnostic (DC)

Le niveau de sécurité augmente lorsque les sous-systèmes sont testés. La couverture du diagnostic (DC) – Diagnostic coverage) est une mesure de la capacité à détecter des défaillances dangereuses. De mauvais tests n'en détectent pas beaucoup, tandis que de bons tests en détectent une grande partie, voire la totalité.
À la place de l'analyse détaillée (AMDE), la norme EN ISO 13849-1 propose des mesures et quantifie la valeur DC. Là aussi, on a une division en plusieurs plages.

Désignation	Plage de valeurs
Nulle	DC < 60%
Faible	60% ≤ DC < 90%
Moyenne	90% ≤ DC < 99%
Élevée	99% ≤ DC < 99

Défaillance de cause commune – résistance

Des facteurs externes (par ex. niveau de tension, température excessive) peuvent brutalement rendre des composants identiques inutilisables, même s'ils tombent très rarement en panne ou sont très bien testés (même si on a deux bons yeux, on ne peut plus lire le journal lorsque la lumière s'éteint brutalement). Ces défaillances de causes communes (CCF – Common Cause Failure) doivent impérativement être évitées.

L'annexe F de la norme EN ISO 13849-1 offre une méthode simplifiée reposant sur un système de points afin de déterminer si les mesures prises contre les CCF sont suffisantes. L'application de certaines mesures correspond à un nombre de points. Lorsque l'on obtient au minimum 65 points, les mesures contre les CCF peuvent être considérées comme suffisantes.

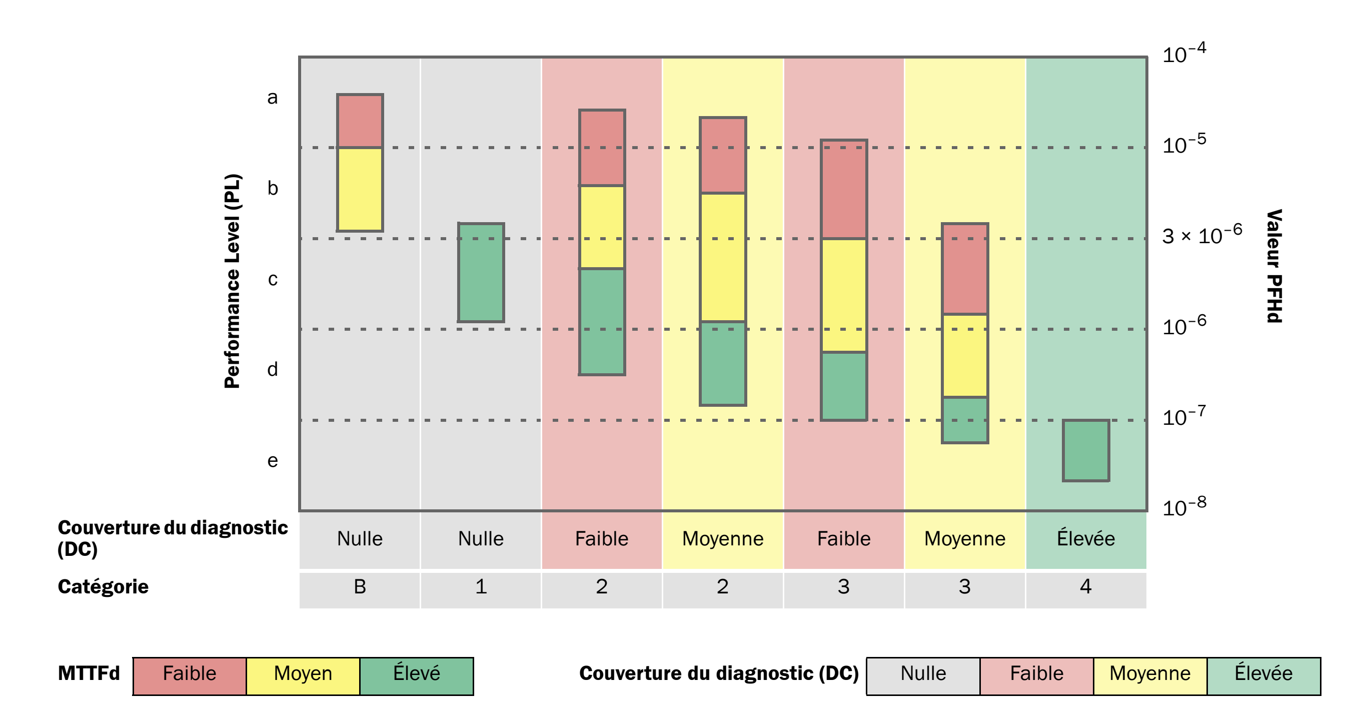
Spécification		Valeur maximale	Exigence minimale
Séparation	Séparation des voies de signaux, pose séparée, isolation, entrefers, etc.	**15**	**Total ≥ 65**
Diversité	Technologies, conceptions, composants, mode d'actions différents	**20**	
Conception, application, expérience	Protection contre les surcharges, surtensions, surpressions, etc. (selon la technologie)	**15**	
	Utilisation de composants et de procédés éprouvés depuis des années	**5**	
Analyse, évaluation	Utilisation d'une analyse des modes de défaillance et de leurs effets pour prévenir les défaillances de cause commune	**5**	
Compétence/ formation	Formation des concepteurs à comprendre et à éviter les causes et les conséquences des CCF.	**5**	
Facteurs ambiants	Test de CEM du système	**25**	
	Test de réaction du système à la température, aux chocs, aux vibrations, etc.	**10**	

Processus

Pour s'assurer que les éléments ci-dessus sont correctement mis en œuvre dans le matériel et le logiciel, qu'ils sont intégralement testés (principe des deux paires d'yeux) et qu'il existe une documentation complète fournissant des informations sur les versions et les révisions, différents outils indiqués dans la norme sont à prendre en compte.

Le processus de mise en œuvre correcte des thématiques de sécurité est une mission de la direction et de l'encadrement ; il inclut un système adéquat de management de la qualité.

Déterminer le PL d'un sous-système
Le schéma ci-dessous montre la relation entre le MTTFd (par canal), la DC et la catégorie.



3
d

Un niveau de performance PL « d » peut par ex. être réalisé avec une commande double canal (catégorie 3). Pour cela, on peut choisir soit une bonne qualité de composants (MTTFd = moyen) si presque toutes les défaillances sont détectées (DC = moyenne), soit une très bonne qualité de composants (MTTFd = élevé), si une faible part des défaillances sont détectées (DC = faible).

Derrière cette procédure se cache un modèle mathématique complexe dont l'utilisateur ne se rend pas compte.
Pour garantir son application pragmatique, les paramètres de catégories, MTTFd et DC sont prédéfinis.

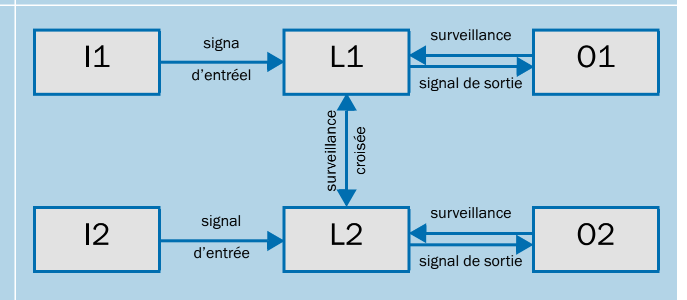
Exemple : Déterminer le PL du sous-système « actionneur »

1) Définition du sous-système « actionneur »

Le sous-système « actionneur » se compose de deux contacteurs avec boucle de retour (EDM). Les contacts guidés permettent de détecter une défaillance de la sécurité des contacteurs.
L'unité logique UE410 elle-même ne fait pas partie du sous-système « actionneur », mais elle est utilisée à des fins de diagnostic.

2) Détermination de la catégorie

Face à une défaillance unique de la sécurité (avec détection des défauts), **le sous-système convient à la catégorie 3 ou 4.**
Remarque : la catégorie est définie définitivement après avoir déterminé la valeur DC.



3) Détermination de la valeur MTTFd par canal

Comme les contacteurs sont des composants soumis à l'usure, la valeur MTTFd doit être déterminée à partir de la valeur B_{10d} et de la fréquence de commutation estimée (n_{op}). La formule ci-contre s'applique :

$$MTTFd = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{op}}$$

La fréquence de commutation se calcule à partir du nombre d'heures de fonctionnement/jour [h_{op}], du nombre de jours d'utilisation/an [d_{op}] et de la fréquence de commutation par heure [C] :

$$MTTFd = \frac{B_{10d}}{0,1 \times d_{op} \times h_{op} \times C}$$

Conditions données par le fabricant :
- B_{10d} = 2600000
- C = 1/h (hypothèse)
- d_{op} = 220 d/a
- h_{op} = 16 h/d

Dans ces conditions, on obtient une valeur **MTTFd de 7386 ans** par canal, ce que l'on interprète comme un MTTFd « élevé ».

MTTFd	Plage de valeurs
Faible	3 ans ≤ MTTFd < 10 ans
Moyen	10 ans ≤ MTTFd < 30 ans
Élevé	30 ans ≤ MTTFd < 100 ans

4) Détermination de la valeur DC

S'agissant de contacts guidés, le tableau des mesures de la norme EN ISO 13849-1 permet d'en déduire une valeur **DC élevée (99 %)**.

DC	Plage de valeurs
Nulle	DC < 60%
Faible	60% ≤ DC < 90%
Moyenne	90% ≤ DC < 99%
Élevée	99% ≤ DC

3
d

Exemple : Déterminer le PL du sous-système « actionneur »

5) Évaluation des mesures destinées à éviter les défaillances de cause commune

Les systèmes double canal mettent en œuvre des mesures visant à éviter les défaillances de cause commune. L'évaluation de ces mesures atteint un **score de 75**. L'exigence minimale est donc remplie.

Spécification	Valeur
Séparation	15
Diversité	20
Conception, application, expérience	20
Analyse, évaluation	5
Compétence/formation	5
Facteurs ambiants	35
	75

Exigence minimale

Total
75 ≥ 65

6) Évaluation des mesures de processus

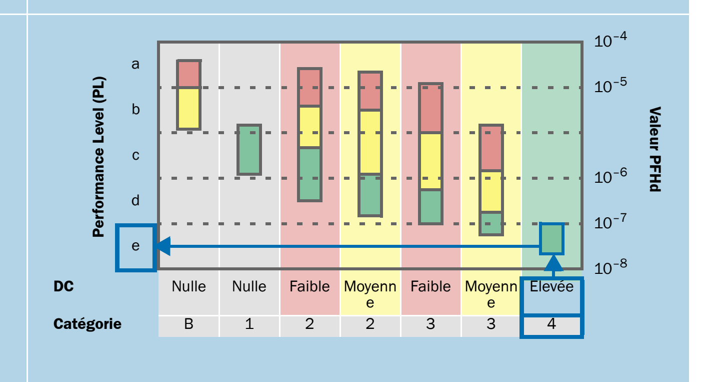
Les aspects systématiques de prévention et de maîtrise des défauts doivent également être pris en compte, par exemple :

- organisation et compétence ;
- règles de conception (par ex. conditions de spécification, directives de codage) ;
- principe et critères de contrôle ;
- documentation et gestion de la configuration.

7) Résultat

Le schéma de détermination du niveau PL pour le sous-système (→ 3-60) permet de déterminer que dans ce cas, on atteint le niveau **PL « e »**.

La **valeur PFHd résultante égale à $2{,}47 \times 10^{-8}$** pour ce sous-système est déduite d'un tableau détaillé dans la norme EN ISO 13849-1. La plage DC élevée indique que la structure double canal répond aux exigences de la **catégorie 4**.



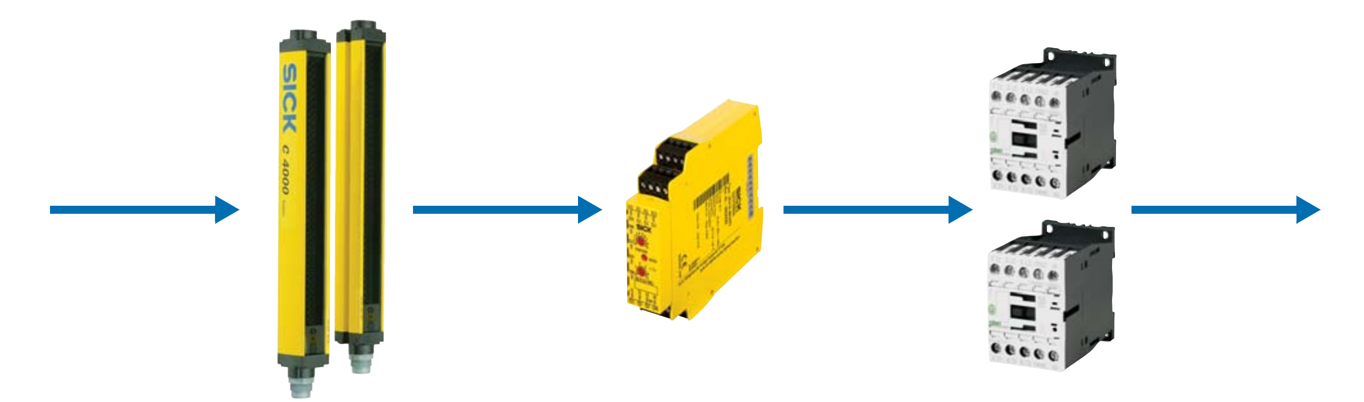
→ Les données résultantes pour le sous-systèmes permettent de déterminer le PL de l'ensemble de la fonction de sécurité (cf. « Calculer le niveau de performance (PL) atteint selon la norme EN ISO 13849-1 » page 3-55).

Alternative : calculer le niveau d'intégrité (SIL) atteint selon EN 62061

La détermination du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) s'effectue sur la base des critères suivants :

- intégrité de sécurité du matériel
  - limitations structurelles (SILCL) ;
  - probabilité de défaillance matérielle aléatoire dangereuse (PFHd) ;
- exigences d'intégrité de sécurité systématique
  - prévention des défaillances ;
  - maîtrise des défaillances systématiques.

Comme dans la norme EN ISO 13849-1, on décompose d'abord la fonction de sécurité en blocs de fonctions puis en sous-systèmes.



Intégrité de sécurité du matériel

Lorsqu'on étudie la fonction de sécurité dans son ensemble, on détermine l'intégrité de sécurité du matériel de telle sorte que...

- le niveau SIL maximal possible du système complet soit limité par la catégorie SILCL la plus faible d'un sous-système ;
- que la valeur PFHd du système de commande résultant de la somme des PFHd individuelles ne dépasse pas la valeur de la rubrique « Vérification de la sécurité fonctionnelle » page 3-55.

Exemple

Dans l'illustration ci-dessus, tous les sous-systèmes répondent à la catégorie SILCL3. La somme des valeurs PFHd est inférieure à 1×10^{-7}. Les mesures visant à assurer l'intégrité de sécurité systématique sont mises en œuvre et la fonction de sécurité atteint donc le niveau SIL3.

Intégrité de sécurité systématique

Lorsque plusieurs sous-systèmes sont liés pour former un système de commande, il faut en plus prendre des mesures pour assurer l'intégrité systématique.

Parmi les mesures permettant d'éviter les défaillances matérielles systématiques, on peut mentionner :

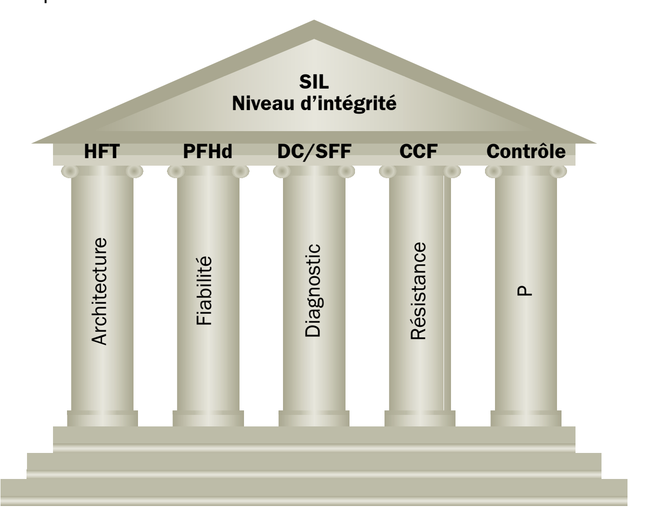
- conception conforme au plan de sécurité fonctionnelle ;
- choix, combinaison, disposition, assemblage et installation corrects des sous-systèmes, y compris le câblage, le raccordement et toutes autres connexions ;
- utilisation dans les limites des spécifications du fabricant ;
- respect des consignes d'application du fabricant, par ex. indications du catalogue, instructions d'installation et utilisation conforme aux pratiques éprouvées ;
- respect des exigences relatives à l'équipement électrique conformément à la norme EN 60204-1.

En outre, la maîtrise des défaillances systématiques doit être prise en compte, par ex.

- utilisation de la coupure d'alimentation pour induire un état sûr ;
- mesures de contrôle des conséquences de défauts et autres effets résultant d'un processus de communication associé, y compris les erreurs de transmission, répétitions, pertes, insertions, erreurs de séquence, falsifications, délais, etc.

Calcul du niveau de sécurité d'un **sous-système** selon EN 62061

La norme EN 62061 prévoit également le calcul du niveau de sécurité de sous-systèmes composés d'un assemblage de composants individuels.

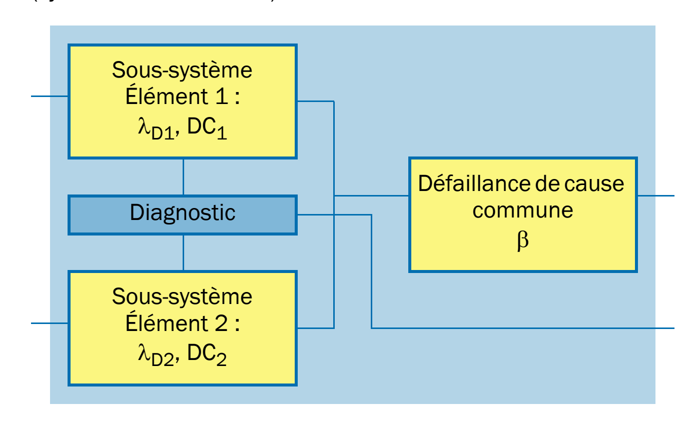


Le niveau d'intégrité de sécurité atteint par un sous-système se compose des paramètres suivants :

- tolérance aux anomalies du matériel (HFT)
- Valeur PFHd
- proportion de défaillances en sécurité (SFF)
- défaillance de cause commune (CCF)
- aspects logiciels de sécurité
- défaillances systématiques

tolérance aux anomalies du matériel (HFT)

La norme EN 62061 définit la structure par types de sous-systèmes et la tolérance aux anomalies du matériel (HFT). HFT 0 signifie qu'une seule anomalie matérielle peut entraîner la perte de fonction du dispositif de sécurité (systèmes monocanal). HFT1 signifie que malgré une anomalie du matériel, la fonction du dispositif de sécurité est maintenue (systèmes double canal).



Probabilité de défaillance aléatoire dangereuse matérielle (PFHd)

Outre les limitations structurelles, il faut tenir compte dans chaque sous-système de la « probabilité de défaillance aléatoire dangereuse matérielle ». Un modèle mathématique définit pour chaque type de sous-système une formule de calcul de la valeur PFHd où les paramètres suivants sont pris en compte :

- couverture du diagnostic ;
- durée d'utilisation ;
- intervalle de test de diagnostic ;
- taux de défaillance des composants (λ_D) ;
- défaillances de cause commune (CCFβ).

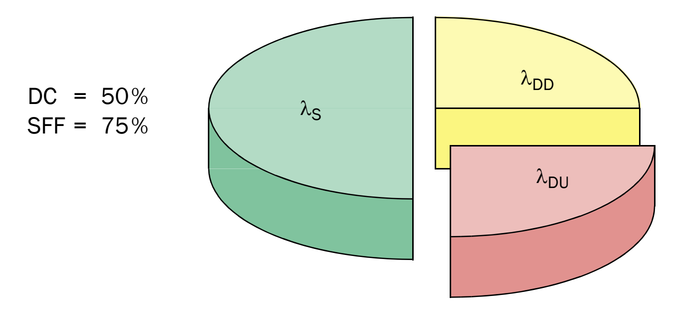
HFT = 1

Diagnostic avec $_1$ et DC_2

$$PFHd = (1-\beta)^2 \times \left\{ \frac{\lambda_{D1} \times \lambda_{D2} \times (DC_1 + DC_2) \times T_D}{2} + \frac{\lambda_{D1} \times \lambda_{D2} \times (2 - DC_1 - DC_2) \times T_P}{2} + \beta \times \frac{\lambda_{D1} + \lambda_{D2}}{2} \right\}$$

$$PFHd \approx \beta \times \frac{\lambda_{D1} + \lambda_{D2}}{2}$$

Proportion de défaillances en sécurité (DC/SFF)



La « proportion de défaillances en sécurité » (safe failure fraction, SFF) résulte de la couverture du diagnostic DC ($\lambda_{DD}/\lambda_{DU}$) et de la proportion de « défauts sans danger » (λ_S).

$$SFF = \frac{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_S + \sum \lambda_D}$$

Défaillance de cause commune (CCF) – résistance

La norme EN 62061 exige elle aussi un certain nombre de considérations relatives à la résistance aux défaillances de cause commune. En fonction du nombre de résultats positifs, on obtient un facteur de CCF (β).

Spécification		Valeur maximale
Séparation	Séparation des voies de signaux, pose séparée, isolation, entrefers, etc.	**15**
Diversité	Technologies, conceptions, composants, mode d'actions différents	**20**
Conception, application, expérience	Protection contre les surcharges, surtensions, surpressions, etc. (selon la technologie)	**15**
	Utilisation de composants et de procédés éprouvés depuis des années	**5**
Analyse, évaluation	Utilisation d'une analyse des modes de défaillance pour éviter les défaillances de cause commune	**5**
Compétence/ formation	Formation des concepteurs à comprendre et à éviter les causes et les conséquences des CCF.	**5**
Facteurs ambiants	Test de CEM du système	**25**
	Test de réaction du système à la température, aux chocs, aux vibrations, etc.	**10**

Valeur	Facteur CCF (β)
≤ 35	10%
36 à 65	5%
66 à 85	2%
86 à 100	1%

Processus

La norme EN 62061 étant fortement tournée vers les systèmes électriques programmables, elle contient – en plus des aspects précédemment évoqués (modèle en V, management de la qualité) – de nombreux conseils et critères détaillés sur les bonnes pratiques de développement logiciel des systèmes de sécurité.

Résultat – détermination du niveau SIL pour le sous-système

Pour chaque sous-système, on détermine d'abord séparément l'intégrité de sécurité du matériel.

Si les sous-systèmes sont préconçus – comme c'est par ex. le cas pour les barrages immatériels de sécurité – un fabricant fournit les données correspondantes dans le cadre des spécifications techniques. Ce sous-système est en règle générale suffisamment décrit par l'indication des niveaux SILCL, PFHd et durée de mission.

Pour les sous-systèmes composés d'éléments de sous-système, comme par ex. les dispositifs de verrouillage des portes de protection ou les contacteurs, il faut par contre déterminer le niveau d'intégrité de sécurité.

Limite de revendication SIL (SIL claim limit, SILCL)

Après avoir déterminé la tolérance aux anomalies du matériel (architecture), on peut déterminer le niveau SIL maximum possible (limite de revendication SIL) du sous-système.

Proportion de défaillances en sécurité (SFF)	Tolérance aux anomalies du matériel	
	0	**1**
< 60%	–	SIL1
60 à < 90%	SIL1	SIL2
90 à < 99%	SIL2	SIL3
≥ 99%	SIL3	SIL3

Un système double canal avec une valeur HFT 1 et un SFF de 90 % peut revendiquer le niveau SILCL3.

3
d

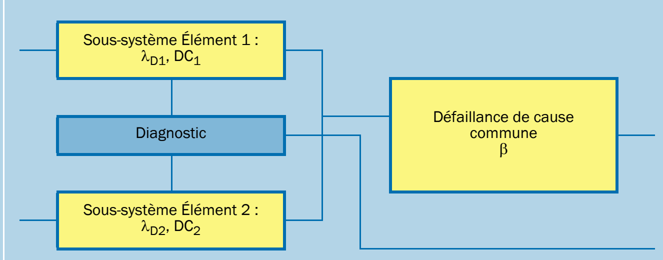
Exemple : calcul des valeurs SILCL et PFHd du sous-système « actionneur »

1) Définition du sous-système « actionneur »

Le sous-système « actionneur » se compose de deux contacteurs avec boucle de retour (EDM). Les contacts guidés permettent de détecter une défaillance de la sécurité des contacteurs.
L'unité logique UE410 elle-même ne fait pas partie du sous-système « actionneur », mais elle est utilisée à des fins de diagnostic.

2) Détermination de la tolérance aux anomalies du matériel :

En raison de la sécurité face à une défaillance unique (avec détection des défauts), on obtient une tolérance aux anomalies du matériel **HFT = 1**.



3) Détermination de la valeur PFHd

a) à partir du taux de défaillance λ_D

Comme les contacteurs sont des composants soumis à l'usure, la fréquence de commutation par heure [C] doit être déterminée à partir de la valeur B_{10d} et de la fréquence de commutation estimée.
Conditions données par le fabricant :

- B_{10d} = 2600000
- C = 1/h (hypothèse)

On obtient donc une valeur λ_D **de 3,8 × 10^{-8}** $\frac{1}{h}$.

$$\lambda_D = \frac{0,1 \times C}{B_{10d}}$$

b) à partir du facteur CCF (β)

Les systèmes double canal mettent en œuvre des mesures visant à éviter les défaillances de cause commune. L'effet est déterminé en fonction des mesures conformément aux indications de la norme EN 62061. Dans cet exemple, le facteur β est égal à 5 %. Voir ci-dessous : « 5) Évaluation des mesures destinées à éviter les défaillances de cause commune »)
PFHd ≈ 1,9 × 10^{-9}.

Valeur	Facteur CCF (β)
≤ 35	10%
36 à 65	5%
66 à 85	2%
86 à 100	1%

$$PFHd \approx \beta \times (\lambda_{D1} + \lambda_{D2}) \times ½$$
$$\approx \beta \times \lambda_D$$
$$\approx 0,05 \times 0,1 \times \frac{C}{B_{10d}}$$

PFHd ≈ 1,9 × 10^{-9}

4) Calcul de la valeur SFF à partir de DC

Les contacts guidés donnent une DC « élevée » (99 %). Cela signifie que sur 70 % de défaillances dangereuses (λ_D), 99 % sont détectées. Donc, on a **SFF=30 %+69,3 %=99,3 %**.

DC = 99%
SFF = 99,3%

5) Évaluation des mesures destinées à éviter les défaillances de cause commune

Les systèmes double canal mettent en œuvre des mesures visant à éviter les défaillances de cause commune.
L'évaluation des mesures selon la norme EN 62061 donne dans ce cas un **facteur CFF (β) de 5%**.

Valeur	Facteur CCF (β)
≤ 35	10%
36 à 65	5%
66 à 85	2%
86 à 100	1%

Exemple : calcul des valeurs SILCL et PFHd du sous-système « actionneur »

6) Évaluation des mesures de processus

Les aspects systématiques de prévention et de maîtrise des défauts doivent également être pris en compte, par exemple :

- organisation et compétence ;
- règles de conception (par ex. conditions de spécification, directives de codage) ;
- principe et critères de contrôle ;
- documentation et gestion de la configuration.

✓

Résultat

Dans la dernière étape, les limitations structurelles sont à prendre en compte. Grâce à la redondance existante (tolérance aux anomalies du matériel 1) et SFF > 99 %, on en déduit la **limite de revendication SIL (SIL claim limit) SILCL3** pour ce sous-système.

Proportion de défaillances en sécurité (SFF)	Tolérance aux anomalies du matériel	
	0	1
< 60 %	–	SIL1
60 à < 90 %	SIL1	SIL2
90 à < 99 %	SIL2	SIL3
≥ 99 %	SIL3	SIL3

→ Les données SILCL et valeur PFHd résultant de ces calculs pour le sous-système permettent de déterminer le niveau SIL atteint pour la fonction de sécurité complète comme décrit ci-dessus (cf. « Intégrité de sécurité du matériel » page 3-63).

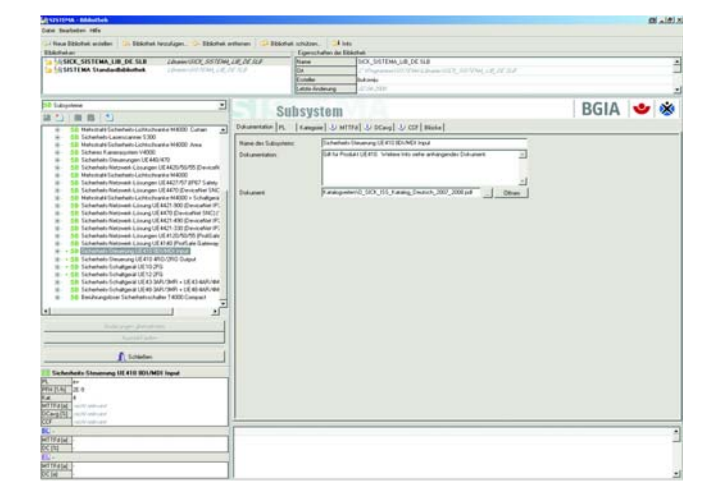
3
d

Aide

Les méthodes de vérification décrites ici exigent un savoir-faire et une expérience des notions de niveau de performance (PL) et d'intégrité de sécurité (SIL). SICK propose des prestations de services correspondantes (→ « Comment SICK vous assiste » page i-1). Un outil logiciel adapté peut vous aider à procéder de manière systématique.

L'assistant logiciel SISTEMA offre une méthode efficace de calcul du PL. Il a été développé et mis à disposition gratuitement par l'organisme allemand BGIA. SICK vous offre en complément une bibliothèque de composants de sécurité certifiés.

En outre, nos séminaires de formation pratique vous assistent dans votre travail quotidien.



→ Pour plus d'informations sur le logiciel SISTEMA, la bibliothèque de composants et les formations, consultez le site http://www.sick.com

Résumé : Vérifier la fonction de sécurité

Généralités

- Vérifier si les fonctions de sécurité prévues respectent le niveau de sécurité requis. Vérifier pour cela la sécurité mécanique et la sécurité fonctionnelle.

Méthodes

- Calculer le niveau de sécurité résultant conformément à la norme EN ISO 13849-1 (PL). Procédures disponibles :
  - procédure simplifiée (à partir du PL)
  - procédure détaillée (à partir des valeurs PFHd)
- Si le PL ou la valeur PFHd d'un sous-système (par ex. pour l'actionneur) est inconnu, déterminer le niveau de sécurité du sous-système à partir des caractéristiques de structure, fiabilité, diagnostic, résistance et processus.
- Alternativement, vous pouvez déterminer le niveau de sécurité résultant conformément à la norme EN 62061 (SIL). Là aussi, vous avez la possibilité de déterminer vous-même le niveau de sécurité d'un sous-système non certifié.

Aides

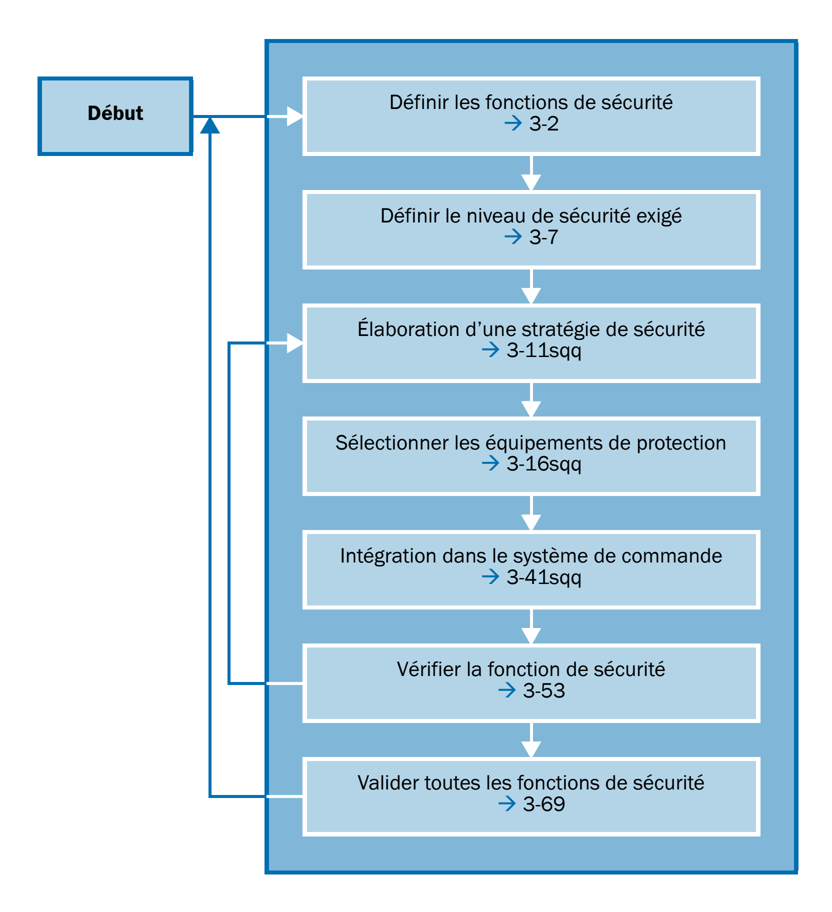
- Utiliser les outils recommandés et ne pas hésiter à demander conseil.

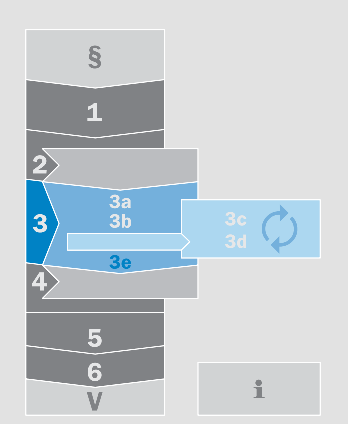
7088620/09-2011

Étape 3e : Valider toutes les fonctions de sécurité



La validation ou **qualification** consiste à vérifier une thèse, un plan ou une hypothèse par rapport à un problème à résoudre. Contrairement à la vérification, où l'on évalue seulement l'application correcte d'une solution conformément aux spécifications, la validation est plutôt un contrôle final pour s'assurer que les solutions sont adaptées en général pour le besoin de réduction des risques.





L'objectif de la procédure de validation est de contrôler les spécifications et la conformité de la conception des composants prenant part à la fonction de sécurité dans la machine. La validation doit montrer que les éléments relatifs à la sécurité de la fonction de commande répondent aux exigences de la norme EN ISO 13849-2, en particulier en ce qui concerne les exigences du niveau de sécurité défini.

La validation doit, lorsque c'est raisonnable, être effectuée par des personnes qui n'ont pas pris part à la conception des éléments relatifs à la sécurité des systèmes de commande.

Pendant le processus de validation, il est important de vérifier les erreurs et en particulier les omissions dans les spécifications formulées.

L'élément critique de la conception d'une fonction de commande de sécurité est en règle générale la spécification.

Un exemple : l'accès à un poste de fabrication doit être protégé par un barrage immatériel. La fonction de sécurité est donc spécifiée comme suit :

« En cas d'intrusion dans le champ de protection d'un barrage immatériel, tous les mouvements dangereux doivent être stoppés le plus rapidement possible. »

Le constructeur aurait toutefois dû penser au redémarrage lorsque le champ de protection est libéré, en particulier s'il est possible de le contourner. Le processus de validation doit couvrir ce genre d'aspects.

Dans le cadre d'un processus de validation, on applique en général plusieurs procédures complémentaires.

Notamment :

- vérification technique du positionnement et de l'efficacité des équipements de protection ;
- vérification pratique des réactions en cas de défaut par rapport aux résultats attendus au moyen de simulations ;
- validation des exigences ambiantes par des tests de fonctions :
  - protection suffisante contre les facteurs ambiants (température, humidité, chocs, vibrations, etc.)
  - immunité aux perturbations électromagnétiques.

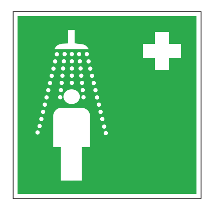
Étape 4 : Information des utilisateurs sur les risques résiduels

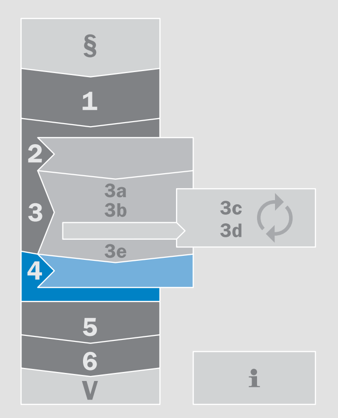
L'information des utilisateurs ne doit pas remplacer d'autres mesures. Si la conception sûre ou les mesures techniques de protection ne sont pas totalement efficaces, l'utilisateur doit en plus être averti des risques résiduels et informé des précautions à prendre.

Par ex. :

- avertissements dans la notice d'instructions ;
- consignes de travail, exigences de formation ou initiation des utilisateurs ;
- pictogrammes ;
- consignes d'utilisation des équipements de protection individuelle.





4

Résumé des étapes 2, 3 et 4 : Réduction des risques

Généralités

Pour réduire les risques déterminés à l'analyse, il faut procéder selon la méthode en 3 étapes :

1. Concevoir la machine afin d'éliminer les dangers autant que possible.
2. Définir, concevoir et contrôler les mesures de protection nécessaires.
3. Définir les mesures d'organisation et l'information sur les risques résiduels.

Mesures techniques de protection

- En matière de sécurité fonctionnelle, on peut s'appuyer sur deux normes au choix : EN ISO 13849-1 (PL) ou EN 62061 (SIL).
- Définir les fonctions de sécurité et déterminer pour chacune le niveau de sécurité requis.
- Élaborer une stratégie de sécurité. Choisir les équipements de protection les plus efficaces ainsi que leur montage et l'intégration dans le système de commande.
- S'assurer que les mesures de protection sont mises en œuvre efficacement et que le niveau de sécurité prévu est atteint.

Étape 5 : Validation globale

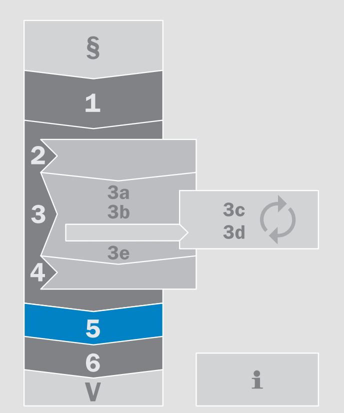
Comme la sécurité fonctionnelle n'est qu'une partie de la réduction des risques, il est nécessaire de procéder à une validation globale de toutes les mesures – conception, technique et organisation – en situation.



En pratique, il peut arriver qu'une seule mesure technique ne suffise pas à réduire les risques, mais qu'à l'examen global le résultat atteint soit suffisant.
La réduction des risques peut être considérée comme atteinte lorsqu'il est possible de répondre à toutes les questions suivantes par oui :

- Toutes les conditions d'exploitation de la machine ont-elles été prises en compte pour toutes les phases de vie de la machine ?
- La méthode en 3 étapes a-t-elle été appliquée ?
- Les dangers ont-ils été éliminés ou les risques ont-ils été réduits dans toute la mesure du possible ?
- Est-il certain que les mesures appliquées n'entraînent pas de nouveaux dangers ?
- Les utilisateurs sont-ils suffisamment informés et avertis des risques résiduels ?
- Est-il garanti que les conditions de travail du personnel d'exploitation ne sont pas perturbées par les mesures de protection mises en œuvre ?
- Les mesures de protection appliquées sont-elles compatibles entre elles ?
- Les conséquences éventuelles d'une utilisation de la machine dans le domaine non commercial / non industriel ont-elles été suffisamment prises en compte ?
- Est-il garanti que les mesures appliquées n'entravent pas excessivement le fonctionnement correct de la machine ?
- Le risque est-il suffisamment réduit ?

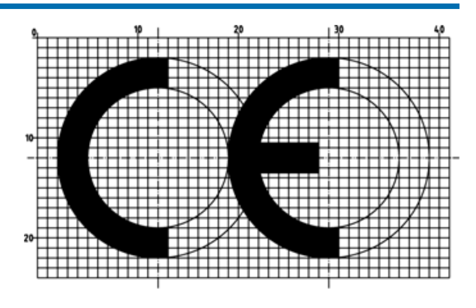
Dans le cadre d'une inspection de sécurité effectuée par des spécialistes SICK, l'ensemble de la machine est soumis à un contrôle des principaux dangers.

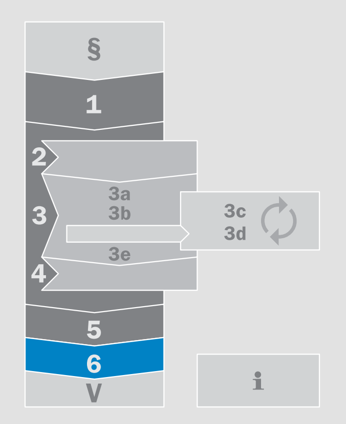


5

Étape 6 : Mise en circulation

Une fois la conformité établie dans le cadre de la validation globale, le cas échéant avec intervention d'un organisme de contrôle, la déclaration de conformité peut être établie au cours de la finalisation de la documentation technique et le marquage CE peut être apposé sur la machine.
La déclaration de conformité doit tenir compte de toutes les directives européennes applicables à la machine.





Dossier technique

Le contenu du dossier technique est décrit dans l'annexe VII, section A de la Directive Machines. Pour les quasi-machines, les exigences particulières de l'annexe VII, section B de la Directive Machines s'appliquent.
À partir du dossier technique, il doit être possible de vérifier si la machine est conforme aux exigences de cette directive. Il doit couvrir la conception, la fabrication et le fonctionnement de la machine, dans la mesure nécessaire à l'évaluation de la conformité.
Le dossier technique doit être établi dans une ou plusieurs des langues officielles de la Communauté, à l'exception de la notice d'instructions de la machine pour laquelle s'appliquent les dispositions particulières prévues à l'annexe I, section 1.7.4.1.

Durée de conservation et délais

Le dossier technique doit être mis à la disposition des autorités compétentes des États membres :

- à partir du jour de fabrication de la machine
- pendant au moins 10 ans après la fabrication de la dernière unité
- Ce dossier technique ne doit pas obligatoirement se trouver sur le territoire de la Communauté. De plus, il ne doit pas être disponible en permanence sous forme matérielle (par ex. conservation sous forme numérique). Toutefois, il doit pouvoir être reconstitué et mis à disposition dans un délai compatible avec son importance par la personne désignée dans la déclaration CE de conformité.

Attention : La non-présentation du dossier technique, à la suite d'une demande dûment motivée des autorités nationales compétentes, peut constituer une raison suffisante pour douter de la conformité de la machine en question avec les exigences essentielles de santé et de sécurité !

Le dossier technique comprend les éléments suivants :

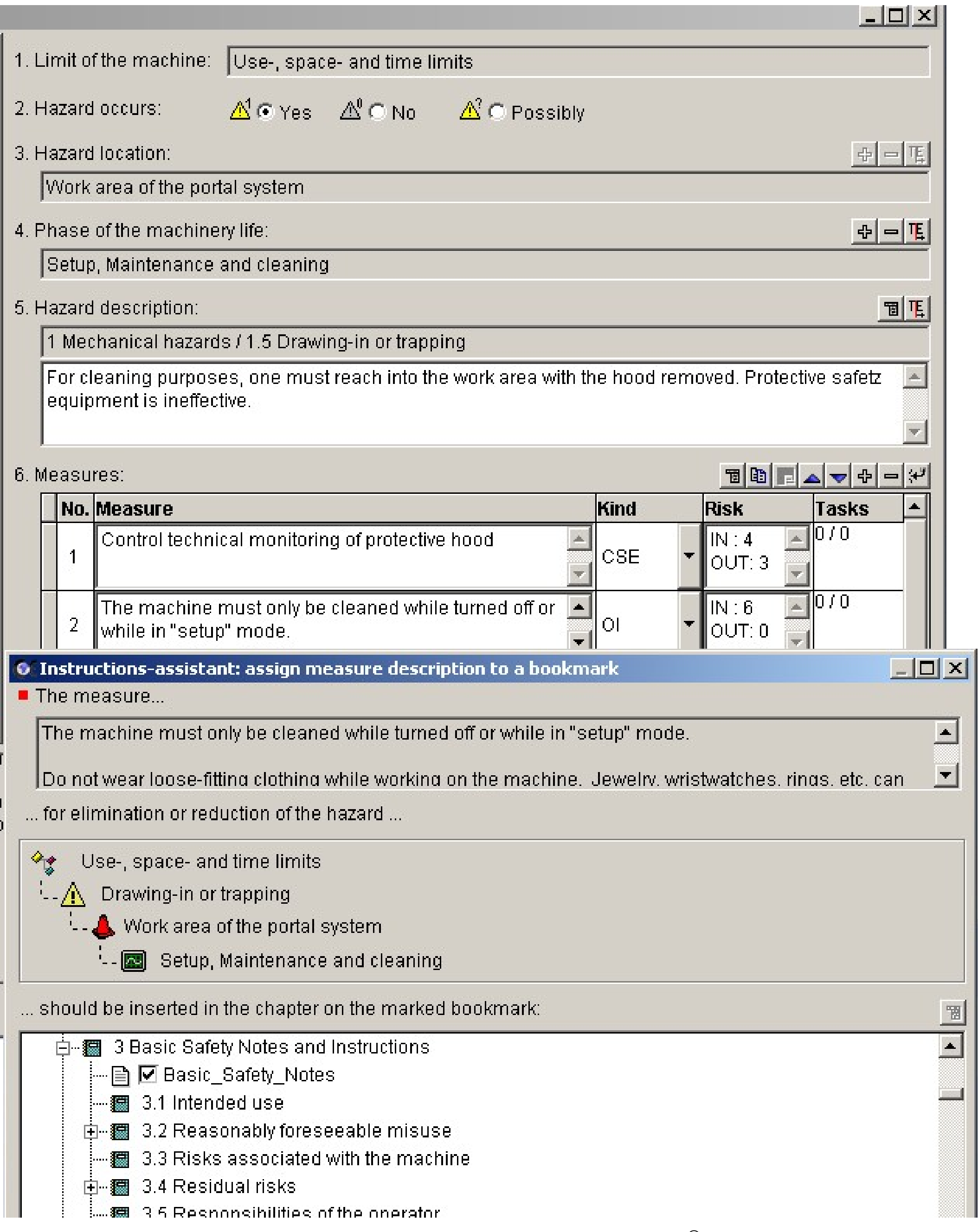
- description générale de la machine :
  - le plan d'ensemble de la machine, les plans des circuits de commande, ainsi que les descriptions et explications pertinentes nécessaires à la compréhension du fonctionnement de la machine
  - les plans détaillés et complets, accompagnés éventuellement des notes de calcul, résultats d'essais, attestations, etc., permettant de vérifier la conformité de la machine aux exigences essentielles de santé et de sécurité
- la liste des normes et autres spécifications techniques utilisées, en précisant les exigences essentielles de santé et de sécurité couvertes par ces normes
- la documentation sur l'appréciation des risques (→ 1-1), décrivant la procédure suivie :
  - liste des exigences essentielles de santé et de sécurité qui s'appliquent à la machine,
  - description des mesures de protection mises en œuvre afin d'éliminer les dangers recensés ou de réduire les risques et, le cas échéant, une indication des risques résiduels liés à la machine,
- tout rapport technique donnant les résultats des essais effectués soit par le fabricant, soit par un organisme choisi par le fabricant ou son mandataire
- la notice d'instructions de la machine
- une copie de la déclaration CE de conformité
- le cas échéant, une copie de la déclaration CE de conformité des autres machines ou produits incorporés dans la machine
- le cas échéant, une déclaration d'incorporation relative aux quasi-machines incluses et les notices d'assemblage pertinentes qui concernent celles-ci

Notice d'instructions

La machine doit être accompagnée d'une notice d'instructions dans la langue officielle du pays d'utilisation. Cette notice peut être soit la « notice d'instructions originale », soit une traduction de cette notice, auquel cas la notice originale doit également être fournie.

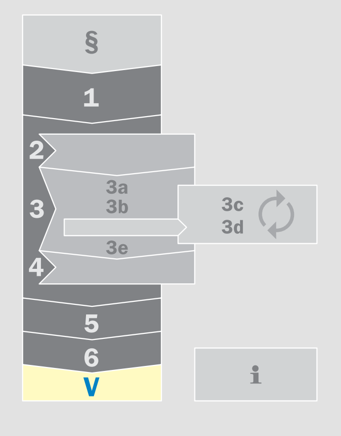
Documentation avec Safexpert®

Le logiciel Safexpert® (→ 1-4) permet également d'appliquer sans difficulté les exigences relatives à la documentation technique. Ainsi, on peut par exemple intégrer directement les conseils d'utilisation de l'appréciation des risques dans la notice d'instructions.



Assistant Notice d'instructions de Safexpert®

6



Responsabilité de l'exploitant

L'employeur est responsable de la sécurité de tout son personnel. Les machines doivent pouvoir être exploitées de manière ergonomique et conforme aux qualifications des opérateurs et donc en toute sécurité.

Outre les réceptions et inspections de sécurité à la livraison, il faut veiller dès l'achat à disposer d'une spécification correcte des exigences de sécurité de la machine.

Comment faut-il acheter des machines ?

Un projet réussi de construction ou de modernisation d'une installation de production commence dès le processus d'achat. Voici les principales pistes.

- Pour les installations complexes, désignez un « maître d'œuvre » conformément à la Directive Machines.
- Définissez au préalable comment procéder avec les machines (éléments) déjà disponibles.
- Définissez par contrat quelle documentation supplémentaire doit être fournie (par ex. appréciation des risques,etc.) pour simplifier la mise en œuvre de modifications ultérieures.
- Le cas échéant, appuyez-vous sur l'application des principales normes EN harmonisées.
- Convenez de la marche à suivre en cas de divergence des normes harmonisées.

Inspections de sécurité

L'expérience montre qu'en pratique, la sécurité des machines n'est que relative. Souvent les équipements de protection sont manipulés pour pouvoir travailler sans entrave. D'autres sources de défauts sont le mauvais positionnement des équipements de protection ainsi que l'intégration défectueuse dans le système de commande.

L'état de sécurité des équipements de travail en service est réglementé par la directive européenne 2009/104/CE (« Directive Sociale ») et doit être contrôlée suivant la législation nationale en vigueur. En particulier, l'article 5 de la directive définit la vérification des équipements de travail. Les règles techniques et normes ou des prescriptions données peuvent être utilisées comme bases de la réalisation. La vérification et la détermination formelle de la sécurité au travail doivent être réalisées à l'initiative de l'exploitant de l'installation. Celui-ci doit veiller à ce que la vérification des équipements de travail soit organisée conformément à la transposition nationale de la Directive Sociale. À cette occasion, les cinq paramètres suivants doivent répondre aux exigences de la transposition nationale de la directive :

1. Mode de vérification
2. Étendue de la vérification
3. Détail de la vérification
4. Délais de vérification
5. Degré d'habilitation des personnes chargées de la vérification

L'inspection de sécurité SICK vous donne un aperçu rapide de l'état de sécurité de vos machines.



La société SICK a été accréditée comme organisme d'inspection par l'institution allemande → DATech.

Par cette accréditation, un organisme indépendant certifie que SICK est en mesure de réaliser les tâches définies dans l'étendue de l'accréditation avec une grande fiabilité et la qualité exigée.

Avec vous, nous identifions les potentiels d'amélioration et nous les mettons en pratique.

- France :Décret n° 93-40 du 11 janvier 1993 relatif aux prescriptions techniques applicables à l'utilisation des équipements de travail
- Suisse : Loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce (SR 822.11, LTr)
- Belgique : Loi sur le bien-être et Code sur le bien-être au travail (De Welzijnswet en de Codex over het Welzijn op het Werk)

→ Directive sur l'utilisation des équipements de travail 2009/104/CE : http://eur-lex.europa.eu/



Directive Sociale, article 5 : Vérifications des équipements de travail

1. L'employeur veille à ce que les équipements de travail dont la sécurité dépend des conditions d'installation soient soumis à une vérification initiale (après l'installation et avant la première mise en service) et à une vérification après chaque montage sur un nouveau site ou à un nouvel emplacement, effectuées par des personnes compétentes au sens des législations et/ou pratiques nationales, en vue de s'assurer de l'installation correcte et du bon fonctionnement de ces équipements de travail.

2. L'employeur veille à ce que les équipements de travail soumis à des influences génératrices de détériorations susceptibles d'être à l'origine de situations dangereuses fassent l'objet :
   - de vérifications périodiques et, le cas échéant, d'essais périodiques, effectués par des personnes compétentes au sens des législations et/ou pratiques nationales,
     et
   - de vérifications exceptionnelles, effectuées par des personnes compétentes au sens des législations et/ou pratiques nationales, chaque fois que des événements exceptionnels susceptibles d'avoir eu des conséquences dommageables pour la sécurité de l'équipement de travail se sont produits, tels que transformations, accidents, phénomènes naturels, périodes prolongées d'inutilisation, afin de garantir que les prescriptions de sécurité et de santé sont respectées et que ces détériorations sont décelées et qu'il y est remédié à temps.

3. Les résultats des vérifications doivent être consignés et tenus à la disposition de l'autorité compétente. Ils sont conservés pendant une durée appropriée.
   Lorsque les équipements de travail concernés sont employés hors de l'entreprise, ils doivent être accompagnés d'une preuve matérielle de la réalisation de la dernière vérification.

4. Les États membres déterminent les modalités de ces vérifications.

V

Comment SICK vous assiste

SICK contribue à la progression de la culture de sécurité dans votre entreprise, dans le but…

- d'améliorer la sécurité des machines et installations existantes ;
- d'intégrer la sécurité dans l'achat de nouvelles machines et installations.

Vous avez, à raison, de grandes exigences envers votre partenaire. Il doit :

- avoir des années d'expérience ;
- apporter des idées innovantes ;
- avoir une présence internationale.

En impliquant des experts SICK dès les premières phases, vous vous assurez que…

- la sécurité est une partie intégrante du projet ;
- les points faibles potentiels sont identifiés assez tôt ;
- les surdimensionnements sont évités ;
- l'efficacité et la compétitivité de votre projet sont garantis.

Les prestations de service de SICK vous apportent un niveau élevé de sécurité et une plus-value économique réelle.

Conformité et conception

Nos experts chevronnés vous accompagnent dans la planification des éléments de sécurité de votre installation et vous aident à réaliser votre projet. Ensemble, nous éliminons dès les premières phases les sources de danger, ce qui vous fait gagner du temps et vous évite des surcoûts ultérieurs. SICK vous guide au fil des étapes suivantes dans le processus d'évaluation de la conformité :

Phase 1 – Détermination des données de base

- Utilisation conforme
- définition des interfaces
- recherche des normes

Phase 2 – Avant-projet

- Appréciation des risques
  - analyse et évaluation des dangers et des risques de l'installation
  - évaluation et catégorisation de tous les éléments du système de commande relatifs à la sécurité

Phase 3 – Planification de la conception et de la réalisation

- élaboration de la stratégie de sécurité
  - définition des fonctions de sécurité
  - principe d'arrêt d'urgence
  - spécification des exigences de sécurité

Phase 4 – Développement du système

- définition et vérification des composants de sécurité
- élaboration des schémas de câblage
- élaboration de la logique de sécurité

Phase 5 – Installation et mise en service

- installation des éléments des systèmes de commande relatifs à la sécurité
- mise en service des composants de sécurité
- vérification et validation de la stratégie de sécurité

Phase 6 – Évaluation finale de la conformité

- inspection de sécurité avant la première mise en circulation de la machine
- détermination de la conformité globale

Séminaires et formations



Des connaissances pratiques pour les praticiens

En général, plus vous avez d'expérience, plus vous êtes à l'aise avec une application. Transmettre son expérience pour optimiser les applications est un élément primordial des séminaires et formations SICK qui sont ainsi toujours largement axés sur la pratique.

Des connaissances d'avance

Au fil du temps, les législations et les normes évoluent. L'évolution technologique aussi, avec le passage du câblage traditionnel aux relais et aux modules de sécurité programmables, voire jusqu'aux réseaux complets avec la technique du bus de terrain, exige de s'adapter à ces nouveautés. Nos séminaires sur les bases de la sécurité vous apportent un savoir-faire actuel sur les thématiques suivantes :

- sélection des équipements de protection adaptés conformément aux normes ;
- intégration des équipement de protection dans le système de commande complet ;
- évaluation correcte des mesures de protection sur la base des directives, normes et ordonnances en vigueur.

Renforcer la sécurité des applications

Nos formations sont centrées sur les produits pour que vous puissiez les intégrer efficacement et en toute sécurité dans l'application prévue. Vous posséderez le bagage nécessaire pour maîtriser l'utilisation de l'appareil ainsi que ses possibilités d'analyse et de diagnostic.

La structure générale d'une formation reprend les différentes phases rencontrées au cours du choix et de l'intégration d'un produit :

- Sélection
  - aspects de sécurité
  - caractéristiques du produit et possibilités d'application
- Intégration
  - intégration dans l'équipement (montage) et câblage
  - programmation
  - mise en service
- Fonctionnement sûr
  - diagnostic et correction des défauts

Sur demande, le service Formation de SICK peut élaborer un projet de qualification sur mesure pour votre application. Cette offre contribue à optimiser la qualité de travail et à accélérer la transmission des connaissances en matière de sécurité.



→ Pour plus de détails sur les formations organisées en Allemagne, consultez le site Internet http://www.sick.de/schulungen/ ou notre programme de formation.
→ Pour les formations organisées dans votre pays, adressez-vous à votre revendeur ou consultez le site http://www.sick.com/.

Sur demande, nous assurons aussi des séminaires et formations sur site.

SICK – nous accompagnons votre installation tout au long du cycle de vie du produit

Avec des produits de sécurité certifiés et des prestations sur mesure, SICK vous accompagne tout au long du cycle de vie de votre machine, de la planification à l'exploitation et même à la modernisation. De la planification à la mise en service et à l'exploitation, jusqu'à la modernisation

	Planification & conception	Mise en service	Utilisation	Mise à niveau
Conseil & conception				
■ Appréciation des risques	✓		✓	✓
■ Stratégie de sécurité	✓			
■ Conception matérielle	✓			✓
■ Conception logicielle	✓			✓
■ Installation		✓		✓
■ Mise en service		✓		✓
■ Vérification de la sécurité fonctionnelle	✓		✓	✓
■ Vérification de conformité CE	✓			✓
■ Certification CE	✓			✓
■ Inspection de l'installation			✓	
Vérification & optimisation				
■ Inspection avant la première mise en service		✓		✓
■ Inspections périodiques			✓	
■ Inspections de sécurité des machines		✓	✓	✓
■ Vérification des équipements électriques		✓	✓	✓
■ Enquête sur les accidents			✓	
■ Mesure de temps d'arrêt		✓	✓	✓
■ Mesure de bruit			✓	
Formation				
■ Séminaires	✓		✓	✓
■ Stages utilisateurs	✓	✓	✓	✓
■ Formations en ligne	✓		✓	✓
Mise à niveau & retrofit				
■ Kits de mise à niveau				✓
Support produits & systèmes				
■ Contrôle à la mise en service		✓		✓
■ Support téléphonique		✓	✓	✓
■ Dépannage sur site		✓	✓	✓
■ Échanges standard			✓	
■ Pièces de rechange			✓	✓
■ Réparations en atelier			✓	

i



Composants (produits)
L'utilisation de produits certifiés facilite la tâche du fabricant de machines qui doit en prouver la conformité aux exigences de la Directive Machines et de différentes normes. En tant que fournisseur de solutions, SICK propose aux fabricants de machines un large éventail de produits, depuis la simple barrière optoélectronique de sécurité monofaisceau jusqu'aux systèmes de commande de sécurité modulaires et compatibles réseau, en passant par les barrages immatériels de sécurité, les scrutateurs laser, les caméras et les interrupteurs de sécurité, sans oublier des solutions logicielles pour la conformité des machines.

Conseil : nos connaissances pour votre application
SICK dispose de filiales ou de représentations dans 87 pays. Vous y trouverez un personnel compétent qui vous apportera les conseils techniques dont vous avez besoin. Nos salariés vous offrent non seulement une maîtrise technique des produits, mais aussi leur connaissance du marché et des législations et normes nationales.

- → Présentation de la gamme Sécurité page 3-51
- → Vous trouverez l'ensemble de nos produits en ligne sur le site http://www.sick.com/.
- → Pour en savoir plus sur les prestations de services disponibles dans votre pays, contactez votre représentant SICK ou consultez notre site http://www.sick-safetyplus.com/.

i

Aperçu des normes applicables

De nombreuses normes A et B ainsi que des normes C importantes sont en cours de remaniement. Ce travail aboutit à l'évolution des normes EN vers des normes EN ISO. Toutefois, un délai de transition de 3 ans s'applique généralement. Ainsi, une norme juste révisée pourra entrer en vigueur effectivement dans 5 ou 6 ans seulement.

Situation juillet 2010

Type de norme	Norme européenne EN	Harmo nisée ?	Norme internationale ISO/CEI	Titre
A	EN ISO 12100-1 (anciennement EN 292-1)	✓	ISO 12100-1	Sécurité des machines – notions fondamentales et principes généraux de conception
	EN ISO 12100-2 (anciennement EN 292-2)	✓	ISO 12100-2	
	EN ISO 14121-1 (anciennement EN 1050)	✓	ISO 14121	Appréciation du risque – Partie 1 : principes
B	EN 349	✓	ISO 13854	Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain
	EN 574	✓	ISO 13851	Dispositifs de commande bimanuelle - Aspects fonctionnels. Principes de conception
	EN 953	✓	ISO 14120	Sécurité des machines - Protecteurs - Prescriptions générales
	EN 1037	✓	ISO 14118	Prévention de la mise en marche intempestive
	EN 1088	✓	ISO 14119	Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs - Principes de conception et de choix
				Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité
	EN ISO 13849-1 (alternative jusqu'au 31.12.2011 : EN 954-1)	✓	ISO 13849-1	■ Partie 1 : principes généraux de conception
	EN ISO 13849-2	✓	ISO 13849-2	■ Partie 2 : validation
	EN ISO 13850 (anciennement EN 418)	✓	ISO 13850	Arrêt d'urgence - Principes de conception
	EN ISO 13855 (anciennement EN 999)	✓	ISO 13855	Positionnement des équipements de protection en fonction de la vitesse d'approche des parties du corps
	EN ISO 13857 (anciennement EN 294 et EN 811)	✓	ISO 13857	Sécurité des machines - Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses
				Équipement électrique des machines
	EN 60204-1	✓	CEI 60204-1	■ Partie 1 : prescriptions générales
				Sécurité des machines – Équipements de protection électrosensibles (ESPE)
	EN 61496-1	✓	CEI 61496-1	■ Partie 1 : prescriptions générales et essais
	CLC/TS 61496-2		CEI 61496-2	■ Partie 2 : prescriptions particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs (AOPD)
	CLC/TS 61496-3		CEI 61496-3	■ Partie 3 : prescriptions particulières pour les équipements utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs sensibles aux réflexions diffuses (AOPDDR)
	EN 61508		CEI 61508	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité
	CLC/TS 62046		CEI/TS 62046	Sécurité des machines - Application des équipements de protection à la détection de la présence de personnes
	EN 62061	✓	CEI 62061	Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et programmables

Type de norme	Norme européenne EN	Harmo nisée ?	Norme internationale ISO/CEI	Titre
C	EN 415-X	✓*		Machines d'emballage (*: seules les parties -1, -3 et -5 à 9 sont harmonisées)
	EN 692	✓		Presses mécaniques
	EN 693	✓		Presses hydrauliques
	EN 13736	✓		Presses pneumatiques
	EN 12622	✓		Presses plieuses hydrauliques
	EN ISO 10218-1 (anciennement EN 775) prEN ISO 10218-2	✓	ISO 10218-1 prISO 10218-2	Robots industriels - Exigences de sécurité ■ Partie 1 : robots ■ Partie 2 : systèmes robots et intégration (Remarque : la norme EN 775 a été retirée, mais reste applicable pour les systèmes robotisés jusqu'à la parution de la norme EN ISO 10218--2)
	EN ISO 1010-X	✓*	ISO 1010	Machines d'impression et de transformation du papier (*: seules les parties 3 et 4 sont harmonisées)
	EN ISO 11111-X	✓*	ISO 11111	Machines textiles (*: seules les parties 1 à 7 sont harmonisées)
	EN 289	✓		Machines pour les matières plastiques et le caoutchouc - Presses - Prescriptions de sécurité
	EN 201	✓		Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques - Machines à injecter - Prescriptions de sécurité
	EN 422	✓		Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques. Sécurité - Machines de moulage par soufflage pour la fabrication des corps creux - Prescriptions pour la conception et la construction
	EN 1114-1			Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques - Extrudeuses et lignes d'extrusion ■ Partie 1 : exigences de sécurité pour les extrudeuses
	EN 1612-1	✓		Machines pour le caoutchouc et les matières plastiques - Machines de moulage par réaction ■ Partie 1 : prescriptions de sécurité relatives aux unités de dosage et de mélange
	EN 528	✓		Transtockeurs - Sécurité
	EN 1459			Sécurité des chariots de manutention - Chariots automoteurs à portée variable
	EN 1525			Sécurité des chariots de manutention - Chariots sans conducteur et leurs systèmes
	EN 1526	✓		Sécurité des chariots de manutention - Prescriptions complémentaires pour les fonctions automatiques des chariots
	EN 1672-1			Machines pour les produits alimentaires - Prescriptions relatives à la sécurité et à l'hygiène- Principes généraux de conception
	EN 869	✓		Prescriptions de sécurité pour les unités à mouler les métaux sous haute pression
	EN 710			Prescriptions de sécurité applicables aux machines et chantiers de moulage et de noyautage en fonderie et à leurs équipements annexes



Liens utiles

Où trouver... ?	
Textes des directives (UE)	Le texte intégral des directives est disponible sur Internet, notamment sur le portail du droit de l'Union européenne : →http://eur-lex.europa.eu/
Listes de normes	Journal officiel de l'UE Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) : →http://www.baua.de/ Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) : →http://www.vdma.org/ Commission européenne : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/documents/index_fr.htm AFNOR : →http://www.boutique.afnor.org/
Éditeurs de normes, internationaux	CEN : →http://www.cen.eu/cenorm/homepage.htm CENELEC : →http://www.cenelec.eu/ ISO : →http://www.iso.org/iso/home.htm CEI : →http://www.iec.ch/
Éditeurs de normes, francophones	Belgique (NBN) : →http://www.nbn.be/ France (AFNOR) : →http://www.afnor.org/ Suisse (SVN) : →http://www.snv.ch/
Éditeurs de normes, européens	Allemagne (DIN) : →http://www.din.de/ Autriche (ON) : →http://www.as-institute.at/ Bulgarie (BDS) : →http://www.bds-bg.org/ Danemark (DS) : →http://www.ds.dk/ Estonie (EVS) : →http://www.evs.ee/ Finlande (SFS) : →http://www.sfs.fi/ Grèce (ELOT) : →http://www.elot.gr/ Grande-Bretagne (BSI) : →http://www.bsigroup.com/ Irlande (NSAI) : →http://www.nsai.ie/ Islande (IST) : →http://www.stadlar.is/ Italie (UNI) : →http://www.uni.com/it/ Lettonie (LVS) : →http://www.lvs.lv/ Lituanie (LST) : →http://www.lsd.lt/ Luxembourg (SEE) : →http://www.see.lu/ Malte (MSA) : →http://www.msa.org.mt/ Pays-Bas (NEN) : →http://www2.nen.nl/ Norvège (SN) : →http://www.standard.no/ Pologne (PKN) : →http://www.pkn.pl/ Portugal (IPQ) : →http://www.ipq.pt/ Roumanie (ASRO) : →http://www.asro.ro/ Suède (SIS) : →http://www.sis.se/ Slovénie (SIST) : →http://www.sist.si/ Slovaquie (SUTN) : →http://www.sutn.sk/ Espagne (AENOR) : →http://www.aenor.es/ République tchèque (CNI) : →http://www.unmz.cz/urad/unmz Hongrie (MSZT) : →http://www.mszt.hu/ Chypre (CYS) : →http://www.cys.org.cy/
Organismes notifiés (Allemagne)	Vous pouvez consulter la liste des organismes notifiés en France et pour les différents pays européens sur le site suivant (en allemand) : → http://www.baua.de/prax/geraete/notifiz.htm
Autriche	Arbeitsschutzinspektion Österreich: →http://www.arbeitsinspektion.gv.at/ CD-ROM „ArbeitnehmerInnenschutz expert" →http://www.a-expert.at/
Suisse	Protection du travail en Suisse : →http://www.seco.admin.ch/
Liste des comités de prévoyance professionnelle (Allemagne)	→ http://www.dguv.de/inhalt/praevention/fachaus_fachgruppen/index.jsp
Adresses des caisses de prévoyance professionnelles (Allemagne)	→ http://www.dguv.de/inhalt/BGuUK/bgen/index.html
Assureurs légaux	Allemagne : Deutsche gesetzliche Unfallversicherung: →http://www.dguv.de/ Autriche : Allgemeine Unfallversicherung: →http://www.auva.at/ Suisse : Assurance accidents en Suisse : →http://www.suva.ch/

Glossaire/index

Abréviations / terminologie		Explication	Index
λ	**Taux de défaillance par heure**	λ : taux de défaillance par heure, somme de λ_S et λ_D ■ λ_S :taux de défaillances en sécurité ■ λ_D :taux de défaillances dangereuses, peut se diviser en : ◆ λ_{DD} :taux de défaillances dangereuses détectées par les fonctions de diagnostic ◆ λ_{DU} :taux de défaillances dangereuses non détectées	→3-64 →3-66
β **(facteur)**		Sensibilité aux défaillances de cause commune (CEI 62061/EN 62061) → CCF	→3-65 →3-66
A			
AELE	**Association européenne de libre-échange**	Organisation internationale d'États européens non-membres de l'Union européenne	→§-5
AMDE	**Analyse des modes de défaillance et de leurs effets**	Méthode d'analyse définie par la norme CEI 812/EN 60812.	→3-13
AOPD	**Dispositif actif de protection optoélectronique**	Dispositif de détection dont la fonction est réalisée par un système émetteur / récepteur optoélectronique. L'interruption de l'un des faisceaux optiques issus du dispositif par un objet opaque présent dans le champ de protection défini par les faisceaux entraîne l'envoi d'un signal de commande d'arrêt. Dans les normes EN 692 Presses mécaniques, EN 693 Presses hydrauliques et EN 12622 Presses plieuses hydrauliques, l'abréviation **AOS** est utilisée comme synonyme d'**AOPD**.	→3-16
AOPDDR	**Dispositif actif de protection optoélectronique sensible aux réflexions diffuses**	Dispositifs de protection électrosensibles qui ont une zone de détection bidimensionnelle dans laquelle le rayonnement d'un ou plusieurs émetteurs rencontrant un objet est réfléchi par réflexion diffuse sur un ou plusieurs éléments récepteurs, permettant la détection de cet objet. (CEI/TS 61496-3, CLC/TS 61496-3)	→3-16
B			
B_{10d}		Nombre de cycles au bout duquel 10 % des composants ont subi une défaillance dangereuse (pour les composants pneumatiques et électropneumatiques)	→3-13 →3-66
Barrage immatériel		AOPD dont la résolution est ≤116 mm	→3-16 →3-29
BGIA		→ IFA	
C			
Catégorie		Classement des éléments de sécurité d'une commande en fonction de leur résistance aux défaillances et de leur comportement en cas de défaillance	→3-14 →3-57
CCF	**Common cause failure**	**Défaillance de cause commune** : défaillances de différentes unités en raison d'un événement unique, ces défaillances n'étant pas causées mutuellement	→3-13 →3-59 →3-65 →3-66
CEM	**Compatibilité électromagnétique**	Capacité d'un dispositif électrique à fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement électromagnétique sans avoir d'influence non tolérée sur cet environnement auquel appartiennent d'autres équipements	→2-9 →3-59 →3-65
CENELEC	**Comité Européen de Normalisation Électrotechnique**	Organisme regroupant des comités électrotechniques de 31 pays membres et 12 pays membres affiliés. Chargé d'harmoniser les normes électrotechniques au sein de l'Union européenne et de l'ensemble de l'espace économique européen. → http://www.cenelec.eu/	→§-5
Champ de protection		Zone à l'intérieur de laquelle l'éprouvette d'essai définie par le fabricant est détectée par l'ESPE ■ Barrage immatériel de sécurité : le champ de protection se situe entre l'émetteur et le récepteur. Il est défini par sa hauteur et sa largeur. ■ Scrutateurs laser : le champ de protection couvre la zone dangereuse d'une machine ou d'un véhicule. Il est défini par sa portée, son angle de balayage, son temps de réponse et la résolution de l'appareil utilisé (cf. caractéristiques techniques).	→3-29
CLC		Préfixe des normes adoptées par le CENELEC	→§-5
D			
DC	**Diagnostic coverage**	**Couverture du diagnostic** : mesure de l'efficacité du diagnostic, définie par le rapport entre le taux de défaillances dangereuses détectées et le taux de toutes les défaillances dangereuses	→3-59 →3-64 →3-66
d_{op}		Durée moyenne de fonctionnement en jours par an	→3-61

i

Abréviations / terminologie		Explication	Index
Distance minimale		Distance calculée entre l'équipement de protection et la zone dangereuse afin d'empêcher les personnes de pénétrer ou de passer des parties du corps à l'intérieur de cette zone dangereuse avant la fin du mouvement dangereux de la machine	→3-29sq q
E			
EDM	**External device monitoring**	**Contrôle des contacteurs**. Dispositif de surveillance des commutateurs externes : moyen par lequel le système de protection électro-sensible (→ ESPE) surveille l'état des commutateurs qui lui sont externes (CEI 61496-1/EN 61496-1). L'utilisation du dispositif EDM ne se limite pas aux ESPE.	→3-45 →3-61 →3-66
EMC	**Electromagnetic compatibility**	→ CEM	
Éprouvette d'essai		Élément cylindrique opaque destiné à vérifier la capacité de détection de l'AOPD (CEI/TS 61496-2, CLC/TS 61496-2)	
ESPE	**Équipement de protection électrosensible**	Ensemble de dispositifs et/ou composants travaillant conjointement pour obtenir un déclenchement de protection ou une détection de présence et comprenant au minimum (CEI 61496-1/EN 61496-1) : ■ un dispositif de détection ■ des dispositifs de commande/surveillance ■ des dispositifs de commutation du signal de sortie (OSSD) Il sert à protéger les personnes qui travaillent sur des machines et des installations présentant un risque de blessure. Il fait passer la machine ou l'installation à un état sûr avant qu'une personne puisse se retrouver dans une situation dangereuse.	→3-16
F			
FIT	**Failure in time**	Taux de défaillance en 10^{-9} heures → $\lambda = 1 \times 10^{-9}$ 1/h	→3-13
Fonction de sécurité		Fonction d'une machine dont la défaillance peut entraîner une augmentation immédiate du ou des risques (EN ISO 12100-1). Une fonction de sécurité est exécutée par des parties des systèmes de commande relatives à la sécurité (SRP/CS).	→3-2
Fonction de sécurité partielle		Partie d'une fonction de sécurité exécutée par un sous-système de sécurité (par ex. : actionneur) pour réduire les risques	→3-47
H			
HFT[n]	**Hardware fault tolerance**	Aptitude d'un SRECS, d'un sous-système ou d'un élément de sous-système à continuer d'accomplir une fonction requise en présence d'anomalies ou d'erreurs (CEI 62061/EN 62061)	→3-64
h_{op}	**Operating hours**	Temps de fonctionnement moyen en heures par jour	→3-61
I			
IFA	**Institut für Arbeitsschutz**	Institut allemand pour la protection du travail géré par la caisse nationale de prévoyance professionnelle. Jusqu'à 2009 s'appelait BGIA.	→§-8
Inhibition		Interruption automatique temporaire d'une ou des fonctions relatives à la sécurité par des parties de systèmes de commande relatives à la sécurité (CEI 61496-1/EN 61496-1)	→3-19
L			
Lambda λ		→ λ	→3-64 →3-66



Abréviations / terminologie		Explication	Index
M			
Mode 1 / 2 passages (PSDI)		Ce mode de fonctionnement est utile lorsque l'opérateur doit insérer ou prélever des pièces à la main de manière cyclique. Dans ce mode, le cycle machine est automatiquement relancé à la libération du champ de protection après une ou deux intrusions. Le réarmement est nécessaire dans les cas suivants : ■ au démarrage de la machine ■ au redémarrage, si l'→ AOPD a été occulté pendant un mouvement dangereux ■ pour enclencher un redémarrage après une durée supérieure à 30 s (cf. IEC 61496-1/EN 61496-1) → Informations complémentaires : EN 692 Toutefois, il faut vérifier que l'opérateur ne court aucun danger pendant le processus de travail. Cela limite l'utilisation de ce mode de fonctionnement aux petites machines dont la zone dangereuse n'est pas accessible à pied et en présence d'une protection anti-enfermement. Tous les autres côtés de la machine doivent également être protégés par des mesures adaptées. L'utilisation de ce mode nécessite des AOPD d'une résolution inférieure ou égale à 30 mm (cf. EN ISO 13855, ainsi que EN 692, EN 693). En général, lors du montage des équipements de protection, il faut éviter les erreurs suivantes : contournement par le haut, par le bas ou par les côtés, stationnement derrière l'équipement de protection.	→3-20
MTTFd	**Mean time to failure**	Valeur probable du **temps moyen avant défaillance dangereuse** (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1)	→3-58
N			
NF	**Normalement fermé**	Type de contact (fermé au repos)	→3-22 →3-28 →3-45
NO	**Normalement ouvert**	Type de contact (ouvert au repos)	
n_{op}	**Nombre d'opérations par an**	Texte de la norme EN ISO 13849-1 : nombre moyen annuel d'utilisations (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1) $n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \frac{s}{h}}{t_{cycle}}$ d_{op} est le temps de fonctionnement moyen en jours par an h_{op} est le temps de fonctionnement moyen en heures par jour t_{cycle} est la durée moyenne entre le début de deux cycles consécutifs du composant en secondes par cycle	→3-61
O			
OSSD	**Output signal switching device**	**Sortie TOR de sécurité**. La partie de l'ESPE reliée au circuit de commande de la machine ; elle est désactivée lorsque la partie capteur réagit pendant un fonctionnement normal	→3-14 →3-41
Ouverture forcée (contacts guidés ou à manœuvre positive d'ouverture		L'ouverture forcée signifie qu'il doit y avoir une transmission de force par contact solide entre l'actionneur et l'élément de commutation. Le mécanisme d'actionnement doit être conçu de telle manière que même en cas de défaillance mécanique, par ex. rupture d'un ressort ou contacts collés, le point de contact s'ouvrira toujours et restera ouvert à l'état actionné (CEI 60947-5-1/EN 60947-5-1).	→3-22
P			
PDF	**Proximity device with defined behaviour under fault conditions**	Détecteur de proximité présentant un comportement défini en cas de défaillance	
PFHd	**Probability of dangerous failure per hour**	Probabilité moyenne de défaillance dangereuse par heure (1/h)	→3-55 →3-62 →3-63
PL	**Performance level**	**Niveau de performance** ; niveau discret d'aptitude de parties relatives à la sécurité à réaliser une fonction de sécurité dans des conditions prévisibles (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1)	→3-55
Protection anti-enfermement		Équipement de protection secondaire des machines / installations qui sont accessibles par le sol et pour lesquelles il faut empêcher que l'installation démarre tant qu'un opérateur se trouve à l'intérieur (Fonction de sécurité : empêcher le démarrage)	→3-31 sqq



Abréviations / terminologie		Explication	Index
R			
Réarmement		Remise de l'équipement de protection à l'état de surveillance. ■ Le réarmement manuel s'effectue au moyen d'un dispositif séparé à actionner manuellement, par exemple un bouton de réarmement. ■ Le réarmement automatique par l'équipement de protection lui-même n'est autorisé qu'exceptionnellement : une personne ne doit pas pouvoir se tenir dans la zone dangereuse sans déclencher l'équipement de protection, ou bien il faut s'assurer que personne ne peut stationner dans la zone dangereuse pendant et après le réarmement.	→2-8 →3-40
Redémarrage		Remise en marche de la machine. Après le déclenchement d'une fonction de protection ou après une défaillance, l'équipement de protection peut être réarmé pour autoriser le redémarrage de la machine.	→3-3 →3-34 →3-46
Résolution / capacité de détection		Limite des paramètres du capteur, définie par le fabricant, dans laquelle l'équipement de protection électrosensible (→ ESPE) réagit.	→3-16
S			
Sécurité fonctionnelle		Partie de la sécurité globale relative à la machine et à son système de commande qui dépend du bon fonctionnement des → SRECS, des systèmes de sécurités d'autres technologies et des dispositifs externes de réduction des risques	→3-1 →3-55
SFF	**Safe failure fraction**	Proportion du taux global des défaillances d'un sous-système qui n'entraînent pas une défaillance dangereuse (CEI 62061/EN 62061)	→3-64
SIL	**Safety integrity level**	**Niveau d'intégrité de sécurité** : niveau discret (parmi trois possibles) permettant de spécifier les exigences concernant l'intégrité de sécurité des fonctions de commande relatives à la sécurité à allouer aux SRECS, le niveau 3 d'intégrité de sécurité possédant le plus haut degré d'intégrité et le niveau 1 possédant le plus bas (CEI 62061/EN 62061)	→3-64
SILCL	**SIL claim limit**	**Limite de revendication de SIL** (pour un sous-système) ; SIL maximal qui peut être revendiqué pour un sous-système de → SRECS en relation avec des contraintes architecturales et l'intégrité de sécurité systématique (CEI 62061/EN 62061)	→3-55 →3-65 →3-67
SRECS	**Safety-related electrical control system**	**Systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité** : système de commande électrique d'une machine dont la défaillance peut provoquer un accroissement immédiat du (des) risque(s) (CEI 62061/EN 62061)	
SRP/CS	**Safety-related part(s) of control system**	**Partie d'un système de commande relative à la sécurité** : partie d'un système de commande qui répond à des signaux d'entrée et génère des signaux de sortie relatifs à la sécurité (ISO 13849-1/EN ISO 13849-1)	→3-55
T			
$\mathbf{T_{10d}}$		Limitation du temps d'utilisation d'un composant. Temps moyen jusqu'à ce que 10 % des composants subissent une défaillance dangereuse. $T_{10d} = \frac{B_{10d}}{n_{op}}$ La durée MTTFd calculée pour les composants soumis à l'usure ne s'applique que pour cette valeur.	
Temporisation de réponse		Durée permettant d'obtenir une activation retardée des contacts. Pour les modules à temporisation de réponse, le délai est réglable.	
Temps de réponse		Durée maximale entre un événement entraînant une réaction de l'élément capteur et le passage des éléments de commutation de sortie (OSSD) à l'état INACTIF.	→3-29

i

Abréviations / terminologie	Explication	Index
V		
VBPD **Visual based protection device**	**Dispositif protecteur par vision**, c'est-à-dire reposant sur le traitement d'images. Par ex : caméras de sécurité	
Verrouillage	Un dispositif de verrouillage est un dispositif mécanique, électrique ou autre dont le but est d'empêcher le fonctionnement d'un élément de machine dans des conditions données.	→3-22
Verrouillage de redémarrage	Dispositif permettant d'empêcher le redémarrage automatique d'une machine après manœuvre du dispositif de détection pendant un cycle dangereux de fonctionnement de la machine, après modification du mode de fonctionnement de la machine et après modification du moyen de démarrage de la machine (CEI 61496-1/EN 61496-1). ■ Les modes de fonctionnement incluent : Coup par coup, Presse - cycle unique, automatique ■ Les dispositifs de commande de démarrage comprennent : pédale, commande bimanuelle, mode 1 ou 2 passages par la fonction de détection de l'ESPE ■ Verrouillage de redémarrage (RES) : Si un faisceau au moins est coupé, la machine s'arrête et le verrouillage de redémarrage (RES) s'enclenche. Il permet de s'assurer que la machine ne peut redémarrer que lorsque le faisceau est libéré et la touche de réarmement actionnée puis relâchée.	

Co-auteurs – Remerciements

La société SICK AG et l'équipe de rédaction remercient chaleureusement tous les co-auteurs qui ont participé à l'élaboration de ce guide, que ce soit par leurs corrections, leurs photographies ou leurs textes. De nombreux lecteurs de la précédente édition ont également contribué à l'aboutissement de cette mise à jour par leurs grandes connaissances techniques et leur expérience pratique. Merci pour leur soutien !

Nous remercions en particulier (dans l'ordre alphabétique) :

- M. Jürgen Grauer, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG
- M. Jochen Ost, Bosch Rexroth Electric Drives and Controls GmbH
- M. Pablo Ruiz, Festo AG & Co. KG



Notes personnelles

i

Notes personnelles

Notes personnelles

Notes personnelles

AUTOMATISATION DE PRODUCTION

Avec des capteurs intelligents, des systèmes de sécurité et des systèmes d'identification automatique, SICK réalise des solutions globales pour l'automatisation de production.

- Détection sans contact, comptage, classification et positionnement d'objets de tous types
- Protection efficace des personnes et des machines grâce à des capteurs, des logiciels de sécurité et des services innovants

AUTOMATISATION LOGISTIQUE

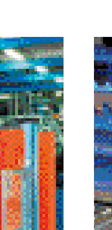
Les capteurs SICK constituent une base pour l'automatisation des flux de matériaux et l'optimisation des processus de tri et de stockage.

- Identification automatique par lecteurs de codes à barres et lecteurs RFID pour le tri et le guidage des flux de matériaux industriels
- Systèmes de mesure laser pour la mesure de volume, position et contour d'objets et d'environnements

AUTOMATISATION DE PROCESSUS

La technique d'analyse et d'instrumentation de SICK MAIHAK assure une détection optimale des données environnementales et de process dans de nombreux processus industriels.

- Solutions complètes pour l'analyse des gaz, des poussières, la mesure de débit, l'analyse des eaux ou des liquides, la mesure de niveau de remplissage et autres tâches







Agence de Paris

SICK
Bd Beaubourg - ZI Paris Est
77184 Emerainville
Tél. : +33 1 64 62 35 99
Fax : +33 1 64 62 35 88
E-mail : sick.paris@sick.fr

Agence de Lyon

SICK
Le pôle
333, cours du 3ème Millénaire
69791 Saint Priest
Tél. : +33 4 72 78 50 80
Fax : +33 4 78 00 47 37
E-mail : sick.lyon@sick.fr

Agence de Nantes

SICK
EuroParc de la Chantrerie
2, rue Jacques Daguerre
BP 10623
44306 Nantes Cedex
Tél. : +33 2 40 50 00 55
Fax : +33 2 40 52 13 88
E-mail : sick.nantes@sick.fr

Votre Distributeur Partenaire SICK :

7088620 - Guide sécurité des machines. (09/2011) · Sous réserve de modifications sans préavis.
Description des produits et caractéristiques techniques non contractuelles

